भारतीय वैश्विक परिषद

उभरती प्रौद्योगिकियाँ और भारतीय कूटनीति

कृत्रिम बुद्धिमत्ता
सेमीकंडक्टर
नैनोटेक्नोलॉजी

भारतीय वैश्विक परिषद

सप्रू हाउस, नई दिल्ली

भारतीय वैश्विक परिषद

उभरती प्रौद्योगिकियाँ और भारतीय कूटनीति

कृत्रिम बुद्धिमत्ता
सेमीकंडक्टर
नैनोटेक्नोलॉजी

भारतीय वैश्विक परिषद

सप्रू हाउस, नई दिल्ली

जनवरी 2024

© आईसीडब्ल्यूए जनवरी 2024

अस्वीकरण: इन लेखों में व्यक्त किए गए विचार, विश्लेषण एवं सिफारिशें व्यक्तिगत हैं और किसी भी प्रकार से आईसीडब्ल्यूए के विचारों को नहीं दर्शाते हैं।

अंतर्वस्तु

प्रस्तावना 5

भारत के पास व्यापक वैश्विक कल्याण हेतु कृत्रिम बुद्धिमत्ता के क्षेत्र में अग्रणी भूमिका निभाने का अवसर

शशि शेखर वेम्पति 7

सेमीकंडक्टर उद्योग एवं भारत की भूमिका

भास्कर बालाकृष्णन 23

भारत का नैनो मिशन

परमेश्वर कृष्णन अय्यर 55

लेखकों के बारे में 75

प्रस्तावना

जून 2023 में संयुक्त राज्य अमेरिका की अपनी राजकीय यात्रा के दौरान, प्रधानमंत्री नरेंद्र मोदी ने कहा था कि "हमारा लक्ष्य इस दशक को तकनीकी दशक बनाना है।" समय के साथ, भारत ने प्रौद्योगिकी को अपनी कूटनीति एवं विदेश नीति का मुख्य घटक बनाया है। इस दौर में, उभरती प्रौद्योगिकियाँ भारत के आर्थिक विकास तथा राष्ट्रीय सुरक्षा हेतु महत्वपूर्ण हो गई हैं, इसलिए भारत अपनी तकनीकी क्षमता को हासिल करने का लक्ष्य लेकर आगे बढ़ रहा है। भारत आईसीईटी (महत्वपूर्ण एवं उभरती प्रौद्योगिकी पर भारत-अमेरिका पहल), भारत-यूरोपीय संघ व्यापार एवं प्रौद्योगिकी परिषद, क्वाड टेक नेटवर्क, कृत्रिम बुद्धिमत्ता पर वैश्विक भागीदारी (जीपीएआई), आदि जैसी विभिन्न रणनीतिक द्विपक्षीय एवं बहुपक्षीय साझेदारियों के ज़रिए कृत्रिम बुद्धिमत्ता, नैनोटेक्नोलॉजी, सेमीकंडक्टर, फिनटेक (डीपीआई) आदि जैसी उभरती हुई प्रौद्योगिकी एवं इसके अनुप्रयोगों के इर्दगिर्द अपनी राजनयिक पहुंच को बढ़ा रहा है।

भारत अपने घरेलू प्रशासन के साथ प्रौद्योगिकी के एकीकरण द्वारा अपनी राजनयिक पहुंच का पूरकीकरण कर रहा है। इंडिया सेमीकंडक्टर मिशन (2021), नैनो मिशन (2007), इंडिया एआई स्ट्रेटजी (2018) और हाल ही में लॉन्च होने वाले एआई मिशन जैसे विभिन्न राष्ट्रीय मिशन इसके आर्थिक एवं भू-राजनीतिक हितों को साधने हेतु उभरती तकनीक को कूटनीति के साथ एकीकृत करने की भारत की इच्छा के अनुरूप हैं। विदेश मंत्रालय ने साइबर डिप्लोमेसी डिवीजन, न्यू इमर्जिंग एंड स्ट्रैटेजिक टेक्नोलॉजीज डिवीजन (एनईएसटी) आदि तकनीकी रूप से विशिष्ट प्रभागों के ज़रिए कई तरह के संरचनात्मक बदलाव भी किए हैं।

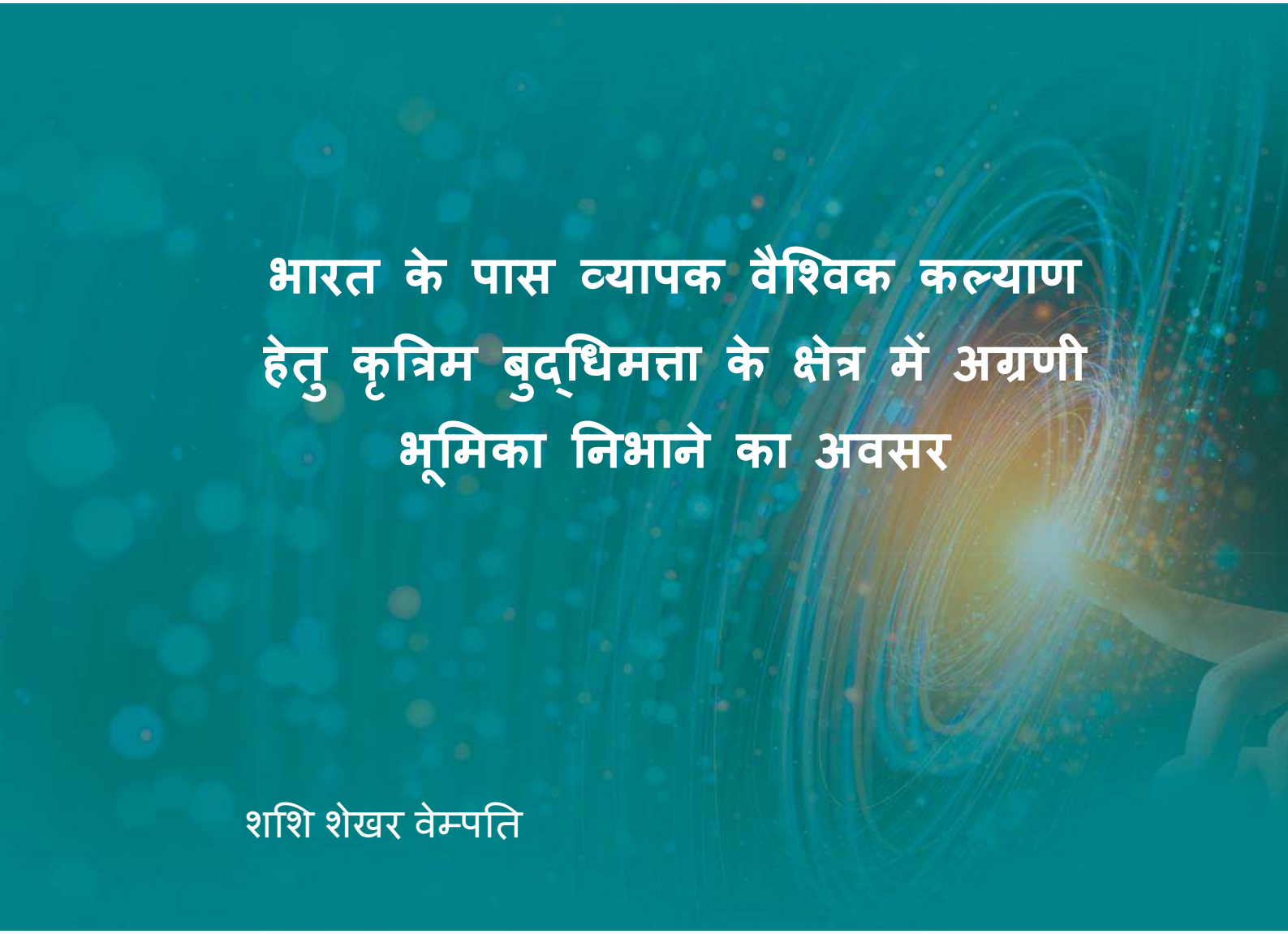
यह विशेष प्रकाशन इस बात पर प्रकाश डालता है कि कैसे उभरती प्रौद्योगिकियाँ भारत के राष्ट्रीय हितों को साधने के लिए इसकी राजनयिक पहुंच को बढ़ाने का एक नया आधार बन गई हैं। इस प्रकाशन में तीन प्रतिष्ठित भारतीय विशेषज्ञों के शोधपत्र दिए गए हैं। प्रसार भारती के पूर्व सीईओ शशि शेखर वेम्पति का 'भारत के पास व्यापक वैश्विक कल्याण हेतु कृत्रिम बुद्धिमत्ता के क्षेत्र में अग्रणी भूमिका निभाने का अवसर' शीर्षक का पहला शोधपत्र शक्ति संरचनाओं, विश्व स्तर पर आपसी निर्भरता एवं सामाजिक ढांचे को पुनः परिभाषित करने में एआई की भूमिका और जी20 अध्यक्षता जैसे अपने विभिन्न राजनयिक चैनलों के ज़रिए सभी के लिए एआई को जिम्मेदारीपूर्ण एवं न्यायसंगत बनाने की वकालत करने में भारत की महत्वपूर्ण भूमिका पर प्रकाश ड़ालता है। राजदूत भास्कर बालकृष्णन का दूसरा शोधपत्र जिसका शीर्षक 'सेमीकंडक्टर उद्योग एवं भारत की भूमिका' है, सभी उद्योगों (स्मार्टफोन, कंप्यूटर, चिकित्सा उपकरण इत्यादि) में सेमीकंडक्टर की मूलभूत भूमिका और घरेलू प्रयासों के अलावा अमेरिका, जापान, कोरिया

गणराज्य, ताइवान आदि जैसे विभिन्न देशों के साथ अपने राजनयिक सहयोग के माध्यम से अपने स्वयं के सेमीकंडक्टर उद्योग को विकसित करने में भारत के प्रयास पर तर्क पेश करता है।

प्रोफेसर परमेश्वर कृष्णन अय्यर का तीसरा शोधपत्र 'भारतीय कूटनीति और भारत का नैनो मिशन' एआई, क्वांटम, सेमीकंडक्टर आदि जैसे अन्य क्षेत्रों के साथ एकीकरण को बढ़ावा देने में नैनो विज्ञान की बहु-विषयक प्रकृति एवं घरेलू क्षमताओं को सुदृढ़ करने में गहन राजनयिक जुड़ाव और अंतर्राष्ट्रीय सहयोग बनाने में मदद कर रहे भारत के नैनो मिशन की भूमिका पर केंद्रित है।

आईसीडब्ल्यूए को अपेक्षा है कि यह प्रकाशन यह समझने में उपयोगी साबित होगा कि कैसे उभरती प्रौद्योगिकियां अपने राष्ट्रीय हितों को साधने में भारत की कूटनीतिक पहुंच का एक नया मोर्चा बन चुकी हैं और इस विषय पर आगे के अध्ययन हेतु प्रेरणा देने का कार्य करेंगी।

राजदूत विजय ठाकुर सिंह
महानिदेशक
भारतीय वैश्विक परिषद
सप्रू हाउस
जनवरी 2023



भारत के पास व्यापक वैश्विक कल्याण हेतु कृत्रिम बुद्धिमत्ता के क्षेत्र में अग्रणी भूमिका निभाने का अवसर

शशि शेखर वेम्पति

उभरती प्रौद्योगिकियाँ और भारतीय कूटनीति

कृत्रिम बुद्धिमत्ता | सेमीकंडक्टर | नैनोटेक्नोलॉजी

प्रस्तावना

प्रौद्योगिकी एवं कूटनीति के बीच का अंतर्संबंध उतना ही प्राचीन है जितनी कि सभ्यता। मिट्टी की तख्तियों को इसका प्रारंभिक उदाहरण माना जा सकता है, जो न केवल हजारों साल पहले मौजूद थीं, बल्कि इनपर साम्राज्यों के बीच संधियों का भी दस्तावेजीकरण किया जाता था। यह कहना अतिश्योक्ति नहीं होगी कि प्रौद्योगिकी ने राजनयिक परिदृश्य में लगातार परिवर्तन किए हैं, चाहे वह संकेत पद्धति से संदेश भेजना हो या टेलीग्राफ हो या वर्तमान इंटरनेट हो। 20वीं सदी वह अवधि है जिसमें टेलीफोन से लेकर इंटरनेट एवं सोशल मीडिया से लेकर स्मार्टफोन तक नई संचार प्रौद्योगिकियों के उद्भव से राजनयिक परिदृश्य में नई प्रौद्योगिकियों का सबसे अधिक दखल देखा गया, जिसका अंतर्राष्ट्रीय संबंधों पर क्रांतिकारी प्रभाव पड़ा है। यदि शीत युद्ध के दौरान अमेरिका और सोवियत संघ के बीच अंतर्राष्ट्रीय हॉटलाइन को वास्तविक आकार देने वाले पुराने पीओटीएस (प्लेन ओल्ड टेलीफोन सिस्टम) रोटरी फोन द्वारा निभाई गई भूमिका, जिसे कई हॉलीवुड स्क्रिप्ट में भी दर्शाया गया था, तो आज उसकी ट्विटर/एक्स ने ले ली है जहां वैश्विक नेता और प्रभावशाली लोग भू-राजनीतिक मुद्दों पर एक-दूसरे से वाद-विवाद करते हैं, खुशी के दौरान एकजुट होकर जश्न मनाते हैं और सीमाओं से परे अपने संदेश को सीधे संप्रेषित कर पाते हैं, तो वास्तविकता कल्पना से भी अधिक अजीब हो जाती है।

इंटरनेट पर डिजिटल डिप्लोमेसी के उदय ने पत्राचार में तेजी ला दी है, सूचना तक पहुंच को लोकतांत्रिक बना दिया है, तथा प्रौद्योगिकी द्वारा सशक्त प्रभावशाली लोगों और ब्रांड एंबेसडरों के एक नए वर्ग को सुविधा प्रदान की है। राजनयिक उद्देश्यों को हासिल करने हेतु इंटरनेट एवं नई संचार प्रौद्योगिकियों के इस्तेमाल में रचनात्मकता से राजनयिक और विश्व नेता न केवल जनता से सीधे जुड़ने, अपनी नीतियों की घोषणा करने या वैश्विक मुद्दों पर प्रतिक्रिया दे सकते हैं, बल्कि इससे भी महत्वपूर्ण बात यह है कि वे चुनावी नतीजों से लेकर सड़क पर विरोध प्रदर्शन तक सीमा पार जनमत को प्रभावित करने और आकार भी दे सकते हैं।

यह कहना अतिश्योक्ति नहीं होगी कि प्रौद्योगिकी ने राजनयिक परिदृश्य में लगातार परिवर्तन किए हैं, चाहे वह संकेत पद्धति से संदेश भेजना हो या टेलीग्राफ हो या वर्तमान इंटरनेट हो।

परमाणु अप्रसार/निरस्त्रीकरण से लेकर अंतरिक्ष के क्षेत्र में सहयोग तक, उभरती प्रौद्योगिकियों ने दशकों से राजनयिक एजेंडे को आकार देने का काम किया है। चाहे वह परमाणु हथियारों के अप्रसार (एनपीटी) पर संधि हो या 1967 की बाह्य अंतरिक्ष संधि जैसी राजनयिक पहल हो, प्रौद्योगिकी पर राजनयिक एजेंडे में इतना अधिक ध्यान दिया रहा है जैसे कि यह कूटनीति का एक साधन हो।

परमाणु अप्रसार/निरस्त्रीकरण से लेकर अंतरिक्ष के क्षेत्र में सहयोग तक, उभरती प्रौद्योगिकियों ने दशकों से राजनयिक एजेंडे को आकार देने का काम किया है। चाहे वह परमाणु हथियारों के अप्रसार (एनपीटी) पर संधि हो या 1967 की बाह्य अंतरिक्ष संधि जैसी राजनयिक पहल हो, प्रौद्योगिकी पर राजनयिक एजेंडे में इतना अधिक ध्यान दिया रहा है जैसे कि यह कूटनीति का एक साधन हो। डेटा गोपनीयता, साइबर सुरक्षा एवं सीमा पार डेटा का प्रवाह एक अन्य महत्वपूर्ण क्षेत्र के रूप में उभरा है जहां प्रौद्योगिकी एवं कूटनीति के बीच परस्पर क्रिया ने बुरे कारकों से निपटने हेतु वैश्विक सहयोग की आवश्यकता के साथ-साथ सीमाओं और अधिकार क्षेत्र में संचालित होने वाले बड़े प्रौद्योगिकी प्लेटफार्मों के खिलाफ नियमों को लागू किया है। गलत सूचना एवं दुष्प्रचार के पैमाने को देखते हुए, प्रत्यक्ष और गुप्त दोनों कारकों के माध्यम से प्रौद्योगिकी राज्य नीति के साधन के रूप में सर्वोपरि मुद्दे के रूप में उभरी है, जैसा कि यूक्रेन युद्ध के दौरान स्पष्ट हुआ है। इसके अलावा, युद्ध की ऐसी स्थितियों में सोशल मीडिया के माध्यम से सूचना के प्रवाह को नियंत्रित करने हेतु बड़े प्रौद्योगिकी प्लेटफार्मों की क्षमता प्रौद्योगिकी और कूटनीति के बीच एक मात्र साधन बनने के लिए बहुआयामी दृष्टिकोण की आवश्यकता को प्रेरित करती है।

आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस या कृत्रिम बुद्धिमत्ता ऐसी उभरती हुई तकनीक का सबसे अच्छा उदाहरण है जिसमें बहु-आयामी परस्पर क्रिया की क्षमता है जो कूटनीति हेतु शक्ति गुणक के साथ-साथ राजनयिक एजेंडे के सृजन के प्रमुख केंद्र बिंदु के रूप में कार्य करती है। एक ऐसे साधन से जो राजनयिक अभ्यास को वैश्विक कूटनीति हेतु एक महत्वपूर्ण एजेंडा तक सुविधाजनक बना सकता है, अभूतपूर्व गति से एआई के विकास के लिए वैश्विक स्तर पर राजनयिक क्षेत्र के भीतर इन परिवर्तनों को लेकर गहरी समझ और अनुकूलन की आवश्यकता होती है। इसलिए संबंधों की यह परस्पर क्रिया पर गहन विश्लेषण और व्यापक व्याख्या की आवश्यकता है।

एक ऐसे साधन से जो राजनयिक अभ्यास को वैश्विक कूटनीति हेतु एक महत्वपूर्ण एजेंडा तक सुविधाजनक बना सकता है, अभूतपूर्व गति से एआई के विकास के लिए वैश्विक स्तर पर राजनयिक क्षेत्र के भीतर इन परिवर्तनों को लेकर गहरी समझ और अनुकूलन की आवश्यकता होती है।

भारत में एआई परिदृश्य पर बारीकी से नज़र डालते हुए यह शोधपत्र कूटनीति में एआई की भूमिका को समझने का प्रयास करता है। भारत के आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस एजेंडे पर आगे बढ़ते हुए यह शोधपत्र अंतरराष्ट्रीय संबंधों के क्षेत्र में भारत के लिए तकनीकी-राजनयिक क्षेत्र में नेतृत्व करने के अवसरों की रूपरेखा तैयार करने हेतु हाल के वैश्विक अनुभवों पर भी प्रकाश डालता है।

भारत में कृत्रिम बुद्धिमत्ता का परिदृश्य

भारत में कृत्रिम बुद्धिमत्ता परिदृश्य में विगत कई वर्षों में नाटकीय बदलाव देखा गया है। अगस्त 2016 में भारत एवं कृत्रिम बुद्धिमत्ता क्रांति पर लिखते हुए, मुझे आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस तथा कई सरकारी वित्त पोषित अनुसंधान परियोजनाओं में निजी निवेश की कुछ शुरुआती जानकारी मिली जिनका प्रभाव उतना अधिक नहीं था। भारत में एआई इकोसिस्टम विकसित करने का आह्वान करते हुए 2016 के शोधपत्र में निजी निवेश एवं राष्ट्रीय क्षमता को बढ़ाने हेतु एक राष्ट्रीय रणनीति की कल्पना की गई थी। आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस ग्रैंड चैलेंजेस फॉर इंडिया पर 2019 में लिखे गए अगले
शोधपत्र में भारत में एआई इकोसिस्टम की शुरुआत करने हेतु दो विशिष्ट प्रयासों के प्रभाव पर प्रकाश डाला गया था - नीति आयोग द्वारा लिखित नेशनल स्ट्रेटजी फॉर एआई और वाणिज्य मंत्रालय द्वारा एआई टास्क फोर्स का सेटअप जिसने एआई पर देश का ध्यान खिंचा।

वाधवानी इंस्टीट्यूट ऑफ आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस की स्थापना ने इस बात को स्पष्ट किया कि कैसे निजी तौर पर वित्त पोषित एआई अनुसंधान जनहित के क्षेत्रों में एआई के लिए सामाजिक स्तर के अनुप्रयोगों पर ध्यान देना शुरू कर रहा था। विगत पांच वर्षों में पूरे भारत में एआई प्रयासों को उल्लेखनीय बढ़ावा मिला है। इनमें से सबसे उल्लेखनीय है आईआईटी मद्रास की एआई फॉर भारत पहल के साथ-साथ सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय, एमईआईटीवाई की भाषिनी पहल, जो इंडिक भाषाओं के लिए बड़े भाषा मॉडल विकसित करने पर केंद्रित है। वर्ष 2022 भारत के लिए आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस पर वैश्विक साझेदारी की अध्यक्षता संभालने की वजह से एक महत्वपूर्ण वर्ष था। संयुक्त राष्ट्र

औद्योगिक संगठन, यूएनआईडीओ ने आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस पर एक साझेदारी जारी की।

संयुक्त राष्ट्र औद्योगिक संगठन, यूएनआईडीओ ने 2022 में सरकारी की एआई तत्परता का एक सूचकांक जारी किया, जिसमें भारत को विश्व स्तर पर 32वें स्थान पर पाया गया, जबकि अप्रैल 2023 में जारी स्टैनफोर्ड इंस्टीट्यूट फॉर ह्यूमन सेंट्रिक आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस की एआई सूचकांक रिपोर्ट में एआई आधारित प्रोडक्ट्स एवं सेवाओं वाला स्टार्ट-अप द्वारा प्राप्त निवेश के मामले में भारत को पांचवें स्थान पर रखा गया। सूचकांक में भारत को एआई कौशल पैठ के चार्ट में शीर्ष पर रखा गया। भारत में एआई की पैठ को ट्रैक करने एवं मापने के लिए, प्रौद्योगिकी उद्योगों के संगठन नॉसकॉम ने एक एआई एडॉप्शन इंडेक्स भी लॉन्च किया है।

तब से भारत ने एआई फॉर इंडिया फोरम जैसे नए मंचों के विकास के साथ सार्वजनिक चर्चा का व्यापक आधार देखा है, जिसमें भारत में एआई के सामाजिक स्तर पर प्रभाव तथा उसकी प्रत्याशा में आवश्यक नीतिगत प्रतिक्रियाओं पर विचार-विमर्श करने हेतु शिक्षा जगत, थिंक-टैंक्स, स्टार्ट-अप और बड़े उद्यमों को एक साथ लाया गया है।

कूटनीति में कृत्रिम बुद्धिमत्ता

कूटनीति में कृत्रिम बुद्धिमत्ता कई वैश्विक भू-राजनीतिक बातचीत का केंद्र रही है, जिसमें जनरेटिव कृत्रिम बुद्धिमत्ता क्षमताओं में हुई हालिया प्रगति से लॉर्ज लैंग्वेज एआई मॉडल के विकास एवं तैनाती पर अंतरराष्ट्रीय मानदंडों की आवश्यकता पर चिंताएं बढ़ा दी हैं। इंटरनेट जैसे ही सीमाओं से परे अपनी पहुंच रखने वाले सिस्टम, प्लेटफ़ॉर्म और एप्लिकेशन के परस्पर जुड़ाव को देखते हुए एआई के लिए ऐसे मानदंड बनाना अनिवार्य हो जाता है। जलवायु कार्रवाई से लेकर अंतर्राष्ट्रीय व्यापार, तस्करी से लेकर आतंकवाद-निरोध तक के मुद्दों पर राष्ट्रों की समन्वित कार्रवाई की आवश्यकता को देखते हुए, भविष्य में यह अनुमान लगाया जा सकता है कि एआई में प्रगति वैश्विक नेटवर्क को लाभ एवं नई चुनौतियों दोनों को दूर करने में मदद करेगी। हालाँकि इस समय दुर्भावनापूर्ण एआई सिस्टम द्वारा किसी देश की नियमित गतिविधियों को दूसरे के लिए सैन्य खतरा जैसी गलत व्याख्या करने की आशंकाएं शायद अतिरंजित हैं, लेकिन स्वायत्त प्रणालियों के विकास की गति एवं उनकी क्षमता बढ़ाने वाली बुद्धिमत्ता को देखते हुए, ऐसी चुनौतियाँ भविष्य में सामने आ सकती हैं। खतरान न होने के बावजूद एआई संचालित स्वायत्त प्रणालियों द्वारा की गई पूर्व-रक्षात्मक कार्रवाइयों से पावर ग्रिड एवं ऊर्जा वितरण जैसी परस्पर जुड़ी प्रणालियां प्रभावित हो सकती हैं, जिससे सीमाओं पर व्यवधान उत्पन्न हो सकता है। सैन्य एवं नागरिक दोनों

अनुप्रयोगों में, ऐसी संभावना है कि स्वायत्त प्रणालियों को यदि ठीक से

कूटनीति में कृत्रिम बुद्धिमत्ता कई वैश्विक भू-राजनीतिक बातचीत का केंद्र रही है, जिसमें जनरेटिव कृत्रिम बुद्धिमत्ता क्षमताओं में हुई हालिया प्रगति से लॉर्ज लैंग्वेज एआई मॉडल के विकास एवं तैनाती पर अंतरराष्ट्रीय मानदंडों की आवश्यकता पर चिंताएं बढ़ा दी हैं।

अंततः बहुपक्षीय व्यवस्था में एआई की ऐसी किसी भी काल्पनिक भूमिका के लिए मानवीय निरीक्षण को केंद्रीय एवं निर्णायक बनाना आवश्यक होगा। मानवीय हस्तक्षेप के साथ सहयोगात्मक कार्रवाइयों को वैश्विक मूल्यों, नैतिकता और समझ के विवेकपूर्ण संयोजन पर आधारित होना आवश्यक होगा।

कैलिब्रेट एवं समन्वित नहीं किया गया, तो सिस्टम की परस्पर संबद्धता और अर्थव्यवस्थाओं की परस्पर निर्भरता को देखते हुए, अनजाने में अंतर्राष्ट्रीय संकट पैदा हो सकते हैं। इसके अलावा जिस गति से जनरेटिव आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस डिजिटल व्यक्तियों के ज़रिए मानव जैसी बातचीत करने में सक्षम है, हम ऐसे युग में प्रवेश कर रहे हैं जहां एआई संचालित एजेंट कई मानवीय गतिविधियों का संचालन करने में सक्षम हैं। कूटनीति के संदर्भ में इसका एक उदाहरण कई भाषाओं में वास्तविक समय में अनुवाद है जैसा कि आमतौर पर संयुक्त राष्ट्र जैसे बहुपक्षीय निकायों में किया जाता है। ऐसी कल्पना की जा सकती है कि राजनयिकों के बीच बातचीत को सुविधाजनक बनाने हेतु बड़ी मात्रा में डेटा संसाधित करते समय सांस्कृतिक बारीकियों, ऐतिहासिक संदर्भों को समझने के लिए डिज़ाइन किए गए बहुभाषी एआई व्यक्तित्व मानवीय पूर्वाग्रहों एवं भावनाओं दोनों की अनुपस्थिति में नई चुनौतियां पैदा कर सकते हैं। यदि तर्क द्वारा संचालित और पारस्परिक लाभ को अधिकतम करने हेतु डिज़ाइन किए गए एल्गोरिदम बातचीत में गति एवं दक्षता ला सकते हैं तो यह बहस का विषय है कि राजनीतिक या भावनात्मक पूर्वाग्रहों की अनुपस्थिति का ऐसी बातचीत पर क्या असर होगा।

यह आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस द्वारा संचालित एल्गोरिदम एवं स्वायत्त प्रणालियों पर किए जाने वाले विश्वास और पारदर्शिता की आवश्यकता पर सवाल उठाता है जिसे संभवतः बहुपक्षीय सेटिंग्स में तैनात किया जाएगा। चीन में हाल के नियामक विकास इस मोर्चे पर चिंता का पर्याप्त कारण सामने रखते हैं, यह देखते हुए कि कैसे एआई आधारित प्रणालियों को राष्ट्रवादी एजेंडे को शामिल करने के लिए अनिवार्य किया जा रहा है। इससे कृत्रिम बुद्धिमत्ता जैसी प्रौद्योगिकियों के बहुपक्षीय उपयोग हेतु ऐतिहासिक संदर्भ को उसकी विविध बारीकियों और व्यक्तिपरकताओं के साथ सटीक रूप से दर्शाना भी अनिवार्य हो जाता है। कृत्रिम बुद्धिमत्ता आधारित प्रणालियों के ऐसे काल्पनिक उपयोगों के संदर्भ में मूल्यों, नैतिकता एवं निरीक्षण में समावेशिता भी आवश्यक हो जाती है।

अंततः बहुपक्षीय सेटिंग्स में एआई के लिए ऐसी किसी भी काल्पनिक भूमिका हेतु मानवीय निरीक्षण को केंद्रीय एवं निर्णायक बनाना आवश्यक होगा। मानवीय हस्तक्षेप से सहयोगात्मक कार्रवाइयों को वैश्विक मूल्यों, नैतिकता और समझ के विवेकपूर्ण मिश्रण पर आधारित होने की आवश्यकता होगी। डिजिटल बातचीत को शाश्वत मानवीय कला के साथ मिश्रित करने हेतु कूटनीति की भाषा को विकसित करने की आवश्यकता होगी।

भारत का कृत्रिम बुद्धिमत्ता संबंधी कूटनीतिक एजेंडा

हालांकि हानिकारक कारकों तथा संवेदनशील प्रणालियों को लेकर काल्पनिक परिदृश्य अभी भी दूर हो सकते हैं, लेकिन मौजूदा समय में भारत को विशिष्ट रूप से डेटा

डिप्लोमेसी एवं सामान्य रूप से टेक-प्लोमेसी पर ध्यान केंद्रित करने की आवश्यकता है। भारतीय संसद द्वारा व्यक्तिगत डेटा संरक्षण पर हाल ही में प्रख्यापित कानून भारत को नए कानून के दायरे में सीमाओं के पार विश्वसनीय डेटा प्रवाह स्थापित करने हेतु एक रूपरेखा प्रदान करता है। इस कानून का एक प्रमुख पहलू क्षेत्राधिकारों की "नकारात्मक सूची" है जिसमें सीमा पार डेटा स्थानांतरण नहीं किया जा सकता है। हालांकि कानून के संचालन के नियम अभी तक तैयार नहीं किए गए हैं, लेकिन यह पूरी तरह से कल्पना योग्य है कि मुक्त व्यापार समझौतों के संदर्भ में भारत द्वारा भविष्य की डेटा कूटनीति में कार्यबल की गतिशीलता को सुविधाजनक बनाने के लिए मानव प्रतिभा एवं संबंधित व्यक्तिगत डेटा दोनों का प्रवाह शामिल हो सकता है। हाल के वर्षों में वैश्विक आपूर्ति श्रृंखलाओं को सुरक्षित करने और महत्वपूर्ण प्रौद्योगिकियों के विकास के प्रयासों के साथ टेक-प्लोमेसी पर अधिक ध्यान दिया गया है।

> भारत, संयुक्त राज्य अमेरिका, जापान और ऑस्ट्रेलिया के बीच क्वाड गठबंधन इस बात का उदाहरण है कि कैसे तकनीकी-कूटनीति भू-राजनीति को आकार दे रही है।

> ग्लोबल साउथ की आवाज़ के रूप में, भारत वैश्विक एआई प्रशासन की वकालत में अपनी एक जगह बना सकता है।

भारत, संयुक्त राज्य अमेरिका, जापान और ऑस्ट्रेलिया के बीच क्वाड गठबंधन इस बात का उदाहरण है कि कैसे तकनीकी-कूटनीति भू-राजनीति को आकार दे रही है। सेमीकंडक्टर से लेकर रेडियो नेटवर्क खोलने तक महत्वपूर्ण उभरती प्रौद्योगिकियों पर सहयोग हेतु भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका के बीच समझौता आने वाले वर्षों में तकनीकी-कूटनीति की व्यापक भूमिका को रेखांकित करता है। द्विपक्षीय और बहुपक्षीय तकनीकी-नीति दोनों से जुड़े मुद्दों की जटिलता के लिए भारत को एक उभरते प्रौद्योगिकी नेता और मितव्ययी प्रर्वतक के रूप में अपनी वैश्विक स्थिति का प्रभावी इस्तेमाल के लिए तकनीक के समर्थक और संबंधित अंतःविषय अध्ययन जैसी नई अंतःविषय भूमिकाओं की आवश्यकता होगी।

वैश्विक कृत्रिम बुद्धिमत्ता साझेदारी की भारत की अध्यक्षता भारत के लिए एआई नैतिकता में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाने का अवसर है। एआई से संबंधित क्षमताओं एवं सेवाओं में भारतीय आईटी उद्योग की तेजी से बढ़ती क्षमता द्विपक्षीय और बहुपक्षीय संबंधों में महत्वपूर्ण लाभ पहुंचाती है। ग्लोबल साउथ की आवाज़ के रूप में, भारत वैश्विक एआई प्रशासन की वकालत में अपनी एक जगह बना सकता है। जिस तीव्र गति से अर्थव्यवस्था की रीढ़, स्वास्थ्य सेवा, वित्त, रक्षा व शिक्षा पर एआई का प्रभाव पड़ रहा है, उन देशों के बीच एक बड़ा अंतर पैदा हो रहा है, जिन्होंने एआई की पूरी क्षमता का दोहन किया है और जो अभी भी बुनियादी डिजिटल बुनियादी ढांचे से जूझ रहे हैं। इस असमानता में एआई पर भारतीय कूटनीति की भूमिका अहम है। एक तरफ विकसित देश एआई को अपने सामाजिक ढांचे में एकीकृत करने की दिशा में आगे बढ़ रहे हैं, तो वहीं दूसरी ओर विकासशील देश पिछड़ रहे हैं, यहां तक कि समाज एआई की दक्षताओं का लाभ उठाए बिना एआई-संचालित ऑटोमेशन के कारण संभवतः नौकरी होने के सवाल से जूझ रहा है। प्रौद्योगिकी की पिछली लहरों के विपरीत, एआई उन्नति की तीव्र गति इन असमानताओं को इस स्तर तक बढ़ा सकती है, जिससे वैश्विक स्थिरता, आर्थिक संतुलन को खतरा हो सकता है और शायद संभावित भू-राजनीतिक तनाव भी पैदा हो सकता है।

ग्लोबल साउथ की आवाज़ के रूप में, भारत एआई विकास के ऐसे सूचकांक की वकालत कर सकता है जो एआई में किसी देश की तकनीकी तत्परता से परे है, लेकिन यह उन नैतिक मानकों का भी आकलन करता हो जिनका एआई उन देशों में पालन किया जा रहा है, इसके अलावा एआई शिक्षा किस सीमा तक व्यापक थी

और किस पैमाने पर एआई देश के आर्थिक उत्पादन को प्रभावित कर रहा है। विकास पर केंद्रित ऐसा सूचकांक भारतीय कूटनीति के लिए वैश्विक दक्षिण के दृष्टिकोण से चर्चा, बातचीत एवं संभावित हस्तक्षेप का नेतृत्व करने का मंच तैयार कर सकता है। डेटा संप्रभुता, साइबर जासूसी और डिजिटल कॉलोनियां बनाने की क्षमता को लेकर चिंताओं को देखते हुए, ग्लोबल साउथ भी एआई पर वैश्विक सहयोग हेतु पारदर्शी और न्यायसंगत साझेदारी के लिए भारत की ओर देखेगा। वैश्विक विकासात्मक एजेंडे में जनता की डिजिटल भलाई को सामने रखने में भारत का सफल प्रयास एआई के इर्दगिर्द ऐसे सहयोग हेतु एक टेम्पलेट पेश कर सकता है जो विकसित अर्थव्यवस्थाओं के अवसरों के साथ ग्लोबल साउथ के हितों को समान स्तर पर रखता है।

भारत एआई कूटनीति में एक अद्वितीय स्थान बना सकता है, एक खुले एआई स्टैक को डिजिटल सार्वजनिक वस्तु के रूप में स्थापित कर सकता है।

यूपीआई (यूनिफाइड पेमेंट्स इंटरफेस) और आधार से, भारत ने डिजिटल पब्लिक गुड्स ने ओपन आर्किटेक्चर और इंटरऑपरेबिलिटी के ज़रिए सामाजिक स्तर के डिजिटल बदलाव की क्षमता को दर्शाया है। आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) में ऐसा ही दृष्टिकोण अपनाते हुए, भारत एआई कूटनीति में अपनी एक खास जगह बना सकता है, ओपन एआई स्टैक को डिजिटल पब्लिक गुड्स के रूप में स्थापित कर सकता है। इंडिया स्टैक ऑफ डिजिटल पब्लिक गुड्स ने स्केलेबल, सुरक्षित एवं समावेशी डिजिटल सिस्टम बनाने की भारत की प्रतिबद्धता को प्रदर्शित किया है। यूनिवर्सल-आईडी आधार में एक बिलियन से अधिक लोगों को नामांकित किया गया है, जिससे सेवा वितरण एवं वित्तीय समावेशन में क्रांति आ गई है, जबकि यूपीआई से समावेशन के ज़रिए डिजिटल भुगतान का पूरा स्वरुप बदल गया है, जिससे गरीब से गरीब व्यक्ति भी डिजिटल अर्थव्यवस्था में हिस्सा ले सकता है। खुले मानकों, खुले एपीआई और इंटरऑपरेबल सिस्टम के सिद्धांतों का अनुवाद करते हुए भारत मानकीकृत प्रोटोकॉल के साथ स्तरित ढांचे के रूप में ऐसे 'ओपन एआई स्टैक' की वकालत कर सकता है, जो एआई सिस्टम के निर्बाध एकीकरण एवं इंटरऑपरेबिलिटी को सुनिश्चित करता हो। ओपन एआई स्टैक जो एआई तक पहुंच को लोकतांत्रिक बना सकता है, थोड़े निवेश से ही सामाजिक स्तर के लाभ का मार्ग प्रशस्त कर सकता है। भारत सार्वभौमिक रूप से सुलभ एआई ढांचे के ज़रिए एआई को डिजिटल पब्लिक गुड्स के रूप में स्थापित करने में वैश्विक मंचों पर नेतृत्व कर सकता है, जिससे यह सुनिश्चित हो सकता है कि कोई भी देश, चाहे उसकी आर्थिक या विकासात्मक स्थिति कुछ भी हो, एआई संचालित भविष्य में पीछे न रह जाए। सहयोगात्मक दृष्टिकोण, साझा एआई इकोसिस्टम का समर्थन करके अपारदर्शिता, पूर्वाग्रहों एवं संभावित दुरुपयोग संबंधी साझा चिंताओं को कम करने के लिए, आपसी विकास को बढ़ावा देकर एआई पर वैश्विक प्रतिस्पर्धा को एक सकारात्मक प्रक्षेपवक्र प्रदान किया जा सकता है, जिससे यह सभी के लिए लाभकारी बन सकता है।

खुले, पारदर्शी और समावेशी एआई को बढ़ावा देने में अग्रणी बनकर, भारत खुद को नैतिक एआई विमर्श में अग्रणी बन सकता है, जो वैश्विक एआई मानदंडों एवं प्रशासन को प्रभावित कर सकता है।

आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस विकास में अधिक निवेश से वैश्विक उच्च तकनीक आपूर्ति श्रृंखला में चीन का एकीकरण, बहुआयामी जोखिम पैदा करता है। भारत की तकनीकी कूटनीति की असली परीक्षा चीन के साथ जुड़ते हुए तथा उसके कार्यों से होने वाले संभावित नुकसान का मुकाबला करके इन जोखिमों से निपटने के तरीकों के ज़रिए होगी।

जनहित के रूप में ओपन एआई स्टैक की भारत की वकालत तकनीकी रूप से उन्नत देशों और अभी भी अपने पैर जमाने का प्रयास कर रहे देशों के बीच एआई विभाजन को पाटने हेतु अपनी एआई कूटनीति रणनीति का केंद्रबिंदु बन सकती है। खुले, पारदर्शी और समावेशी एआई को बढ़ावा देने में अग्रणी बनकर, भारत खुद को नैतिक एआई विमर्श में अग्रणी बन सकता है, जो वैश्विक एआई मानदंडों एवं प्रशासन को प्रभावित कर सकता है। सहयोग के संसाधन के रूप में ओपन एआई स्टैक की पेशकश राष्ट्रों के साथ गहरे संबंधों को बढ़ावा दे सकती है, जो ऐतिहासिक रूप से भारत की आईटी और सॉफ्टवेयर कौशल के साथ देखी गई सॉफ्ट-पावर कूटनीति की प्रतिध्वनि है। इस तरह का दृष्टिकोण नवोन्मेष को एक नई गति दे सकता है, जिसमें स्टार्ट-अप एवं उद्यम इस स्टैक पर समाधान तैयार कर सकते हैं, आर्थिक विकास को बढ़ावा दे सकते हैं और भारत को एआई हब के रूप में स्थापित कर सकते हैं। उक्त परिणामों को हासिल करने हेतु एआई के इर्दगिर्द एक सहयोग समझौता ग्लोबल साउथ के देशों के लिए केंद्र बिंदु बन सकता है।

इस तरह के समझौते में एआई को हथियार बनने से रोकने का भी प्रयास करना होगा, यह सुनिश्चित करते हुए कि एआई का उपयोग बड़े पैमाने पर निगरानी, जासूसी या स्वायत्त हथियारों में नहीं किया जाए। हालाँकि इसके लिए परिभाषाओं, प्रवर्तन तंत्र एवं सत्यापन प्रोटोकॉल पर तकनीकी-गहन कूटनीति की आवश्यकता होगी। नैतिकतावादियों, टेक्नोक्रेट्स एवं राजनयिकों को एक साथ लाना, एआई विकास एवं तैनाती हेतु एक उपयुक्त सार्वभौमिक संहिता, मानवाधिकारों, गोपनीयता और निष्पक्षता पर बल देना सहयोग के इन प्रयासों का केंद्र-बिंदु हो सकता है। इन प्रयासों का वांछनीय परिणाम एआई को लोकतांत्रिक बनाने की वैश्विक प्रतिज्ञा, एआई संसाधनों को साझा करने की प्रतिबद्धता, अल्प विकसित देशों में प्रशिक्षण एवं कौशल, और यह सुनिश्चित करना होगा कि एआई-संचालित समाधान जलवायु परिवर्तन से लेकर स्वास्थ्य देखभाल असमानताओं तक वैश्विक चुनौतियों का समाधान हो। इसके साथ ही इन सहयोग प्रयासों के लिए पारदर्शी प्रणाली स्थापित करने की भी आवश्यकता होगी जिसमें एआई को फीड करने वाले एल्गोरिदम व डेटा पहुंच योग्य हों और उनका ऑडिट किया जा सके। यह देखते हुए कि बड़े और खुले लोकतंत्र ऐसे संगठित प्रयासों को लेकर कितने संवेदनशील हैं, एआई-संचालित दुष्प्रचार को रोकना तात्कालिक लक्ष्य होना चाहिए। एआई-संचालित दुष्प्रचार अभियानों की पहचाने, उन्हें कम करने तथा उनका मुकाबला करने में सहयोग महत्वपूर्ण हो जाता है।

बड़े पैमाने पर निगरानी हेतु एआई के उपयोग से लेकर जेनरेटिव एआई मॉडल पर इसके कड़े नियामक नियमों तक, आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) के प्रति चीन के दृष्टिकोण का दुनिया पर महत्वपूर्ण प्रभाव होगा।

आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस विकास में अधिक निवेश से वैश्विक उच्च तकनीक आपूर्ति श्रृंखला में चीन का एकीकरण, बहुआयामी जोखिम पैदा करता है। भारत की तकनीकी कूटनीति की असली परीक्षा चीन के साथ जुड़ते हुए तथा उसके कार्यों से होने वाले संभावित नुकसान का मुकाबला करके इन जोखिमों से निपटने के तरीकों के ज़रिए होगी। एआई के क्षेत्र में एक मजबूत देश के रूप में चीन का उदय और एआई में अग्रणी वैश्विक प्रर्वतक के रूप में उभरने की उसकी महत्वाकांक्षा विभिन्न क्षेत्रों में एआई के व्यापक उपयोग से जाहिर है। चेहरे की पहचान का इस्तेमाल करके बड़े स्तर पर निगरानी हेतु एआई का उपयोग, कम्युनिस्ट प्रशासन के विरुद्ध किसी भी जानकारी को चीन के इंटरनेट से नियमित रूप से साफ़ करने का सेंसरशिप, एआई नैतिकता हेतु चीन को किसी भी वैश्विक ढांचे में एकीकृत करना एक जटिल कार्य होगा। चीन को वैश्विक उच्च तकनीक आपूर्ति श्रृंखला से अलग करने हेतु विकसित पश्चिम का वर्तमान प्रक्षेपवक्र एआई नवोन्मेष में तेजी लाने के लिए अपनी ओर से नए सिरे से प्रयास कर रहा है। इन जटिलताओं को देखते हुए, एआई परिप्रेक्ष्य से चीन के साथ जुड़ने हेतु एक विचारशील दृष्टिकोण विकसित करना होगा क्योंकि भारत एआई के इर्दगिर्द ही अपने राजनयिक एजेंडे पर विचार कर रहा है। वैश्विक अर्थव्यवस्था की परस्पर जुड़ी प्रकृति तथा एआई के क्षेत्र में चीन के विकास से सामने आने वाली बहुआयामी चुनौतियों और अवसरों को देखते हुए, ऐसे दृष्टिकोण में अंतर्राष्ट्रीय सहयोग, स्वस्थ प्रतिस्पर्धा तथा रणनीतिक नियंत्रण शामिल होना चाहिए। प्रौद्योगिकी और भू-राजनीति के अंतरसंबंध पर भारतीय कूटनीति इस जटिल परिदृश्य से कैसे पार पाती है, यह एआई के भविष्य एवं वैश्विक समाज एवं अर्थव्यवस्था पर इसके प्रभाव को आकार देगा।

निष्कर्ष

आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस या कृत्रिम बुद्धिमत्ता सबसे परिवर्तनकारी तकनीकों में से है जो मानव जाति को बदलने जा रही है। यह सुनिश्चित करते हुए कि इसके लाभों को पाने में कोई भी समुदाय, समाज या राष्ट्र पीछे न रह जाए,

यह सुनिश्चित करते हुए कि इसके लाभों को पाने में कोई भी समुदाय, समाज या राष्ट्र पीछे न रह जाए, इस विश्वास के साथ प्रौद्योगिकी एवं कूटनीति के बीच परस्पर क्रिया की आवश्यकता है कि एआई की क्षमता का उपयोग सभी के सामूहिक कल्याण हेतु किया जाना चाहिए।

इस विश्वास के साथ प्रौद्योगिकी एवं कूटनीति के बीच परस्पर क्रिया की आवश्यकता है कि एआई की क्षमता का उपयोग सभी के सामूहिक कल्याण हेतु किया जाना चाहिए। आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस का इस्तेमाल करने हेतु ज्ञान तथा साधनों से हर देश और समुदाय को सशक्त बनाने के लिए एआई शिक्षा और कौशल दोनों के लिए संसाधनों के विकास की आवश्यकता होती है, साथ ही प्रौद्योगिकी स्वतः संस्कृति एवं भाषा की बाधाओं को दूर करने के रास्ते तलाश लेती है। एआई डिप्लोमेसी का जोर यह सुनिश्चित करने पर होगा कि हर देश, चाहे उसकी आर्थिक स्थिति कुछ भी हो, एआई को तैनात कर सके तथा उससे लाभ उठा सके। इसके लिए आवश्यक एआई अवसंरचना के सृजन में राष्ट्रों की सहायता के लिए वैश्विक फंड का निर्माण और साझा एआई क्लाउड संसाधनों एवं सहयोगी अनुसंधान सुविधाओं जैसे विकासात्मक उपायों की आवश्यकता होगी। नैतिक मानकों और मानवाधिकारों एवं स्वतंत्रता का सम्मान सुनिश्चित करने हेतु एआई राजनयिक प्रयासों में चीन बनाम अन्य देशों के बीच जटिल चुनौतियों का सामना करना पड़ेगा। जिस गति से ये प्रौद्योगिकियां आगे बढ़ रही हैं, उसे देखते हुए समाजों को निगरानी, अनधिकृत डेटा संग्रहण एवं हेरफेर करने वाली एआई प्रौद्योगिकियों से होने वाले दुरुपयोग और नुकसान से बचाने हेतु तत्काल कदम उठाने की आवश्यकता होगी। कूटनीति में डेटा केंद्रों के रूप में बड़े पैमाने पर उच्च प्रदर्शन कंप्यूटिंग सुविधाओं और एआई-संचालित प्रक्रियाओं के व्यापक प्रसार से परिवेशीय प्रभावों को भी नजरअंदाज नहीं किया जा सकता है। वैश्विक कूटनीति द्वारा समर्थित एआई हेतु एक सतत विकास एजेंडा ग्रीन एआई अनुसंधान, ऊर्जा-कुशल एल्गोरिदम और हार्डवेयर को बढ़ावा देने एवं एआई बुनियादी ढांचे के लिए नवीकरणीय ऊर्जा में बदलाव पर ध्यान केंद्रित हो सकता है। चीन के नियामक कदमों द्वारा जेनेरेटिव एआई मॉडल पर राजनीतिक मानदंडों को लागू करने से लेकर पश्चिमी मान्यताओं एवं मूल्यों को पूर्वाग्रहित करने वाले मॉडल तक, इन मॉडलों को प्रशिक्षित और विकसित करने के तरीके में स्थानिय संस्कृतियों और स्थानीय मूल्यों की विविधता के लिए समावेशिता और सम्मान को प्राथमिकता देने हेतु एआई कूटनीत आवश्यक है। ये प्रयास कितने प्रभावशीलता हैं, इसकी असली परीक्षा तब होगी जब एआई तक पहुंच न्यायसंगत हो, राष्ट्रों के बीच अंतर कम हो एवं सार्वभौमिक पहुंच हासिल हो। इसके लिए संपूर्ण मानवता के लाभ हेतु बेहतर, सामूहिक आकांक्षाओं के प्रति सतत प्रतिबद्धता की आवश्यकता होगी।

> 2047 तक, जब स्वतंत्र भारत अमृत काल की परिणति के साथ आगे बढ़ेगा, ऐसी उम्मीद है कि एआई पर कूटनीति उतनी ही महत्वपूर्ण हो जाएगी जितनी पारंपरिक कूटनीति कभी शांति, व्यापार एवं गठबंधन के लिए महत्वपूर्ण थी।

भारतीय दर्शन विचारों, मूल्यों एवं सिद्धांतों का ऐसा उपयुक्त चित्रपट सामने रखता है जो व्यापक वैश्विक कल्याण हेतु एआई के नैतिक उपयोग एवं विकास पर मार्गदर्शन कर सकता है। भारत की जी20 की अध्यक्षता के दौरान उपनिषदों से वसुधैव कुटुम्बकम (विश्व एक परिवार है) को अपनाना इसका एक उपयुक्त उदाहरण है कि भारतीय मूल्यों पर आधारित भारतीय कूटनीति कैसे वैश्विक नेतृत्व प्रदान कर सकती है। एआई हेतु नैतिकता पर आधारित ऐसा समावेशी ढांचा जो मानवता के समग्र कल्याण पर केंद्रित हो, न केवल भारत के लिए उचित रहेगा, बल्कि इसमें भारत को वैश्विक कल्याण के लिए प्रकाशस्तंभ के रूप में उभरने की क्षमता भी है, और यह भी दर्शाता है कि कैसे प्राचीन ज्ञान आधुनिक नवोन्मेषों को सामंजस्यपूर्ण और फायदेमंद बनाने के लिए मार्गदर्शन कर सकता है। 2047 तक, जब स्वतंत्र भारत अमृत काल की परिणति के साथ आगे बढ़ेगा, ऐसी उम्मीद है कि एआई पर कूटनीति उतनी ही महत्वपूर्ण हो जाएगी जितनी पारंपरिक कूटनीति कभी शांति, व्यापार एवं गठबंधन के लिए महत्वपूर्ण थी। चूंकि आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस शक्ति संरचना, वैश्विक परस्पर निर्भरता एवं सामाजिक ढांचे को पुनः परिभाषित करता है, कूटनीति के स्तर पर इस विषय पर न केवल राष्ट्रीय हितों के लिए बातचीत करना, बल्कि संतुलित, न्यायसंगत एवं सामंजस्यपूर्ण एआई-संचालित वैश्विक व्यवस्था की उम्मीद करना भी चुनौती बन गया है।

संदर्भ

- Twitplomacy: Social Media as a New Platform for Development of Public (Diplomacy, Shumin Su and Mark Xu, International Journal of E-Politics, October 2015
- Crafting a Multilateral Technology and Cybersecurity Policy, R D Williams, Brookings, November 2020 (https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/11/Robert-d-Williams.pdf)
- India and the Artificial Intelligence Revolution, Shashi Shekhar Vempati, August 2016, Carnegie India (https://carnegieindia.org/2016/08/11/india-and-artificial-intelligence-revolution-pub-64299)
- AI Grand Challenges for India, Shashi Shekhar Vempati, Winter 2018-Spring 2019, Volume 45, Numbers 3&4, IIC Quarterly (https://aws-static.iicdelhi.in/s3fs-pub-lic/2020-11/636931028317785809_00_IIC%20Q_Prelims-F.pdf)
- The AI Index 2023 Annual Report," AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2023, Nestor Maslej, Loredana Fattorini, Erik Brynjolfsson, John Etchemendy, Katrina Ligett, Terah Lyons, James Manyika, Helen Ngo, Juan Carlos Niebles, Vanessa Parli, Yoav Shoham, Russell Wald, Jack Clark and Ray-mond Perrault (https://aiindex.stanford.edu/ wp-content/uploads/2023/04/HAI_AI-In-dex-Report_2023.pdf)
- Government AI Index 2022, Oxford Insights (https://www.unido.org/sites/default/files/files/2023-01/Government_AI_Readiness_2022_FV.pdf)
- The NASSCOM AI Adoption Index 2022 (https://nasscom.in/knowledge-center/publications/nasscom-ai-adoption-index)
- Quad AI - Assessing AI-related Collaboration between the United States, Australia, India, and Japan, Husanjot ChahalNgor LuongSara Abdulla Margarita Konaev, Issue Brief, CSET,

May 2022 (https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/Quad-AI.pdf)

- India and the United States' Good Bet: One Year of the U.S.-India Initiative on Critical and Emerging Technology (iCET), Konark Bhandari, Arun Singh, Rudra Chaudhuri, Carnegie India, June 2023 (https://carnegieindia.org/2023/06/12/india-and-united-states-good-bet-one-year-of-u.s.-india-initiative-on-critical-and-emerging-technology-icet-pub-89926)

- G20 Digital Economy Ministers Meeting – Outcome Document and Chair's Summary, Bengaluru, Karnataka, August 2023 (https://www.g20.org/content/dam/gtwenty/gtwenty_new/document/G20_Digital_Economy_Outcome_Document%20_and_Chair%27s_Summary_19082023.pdf)
- Summary of India's Digital Personal Data Protection Act 2023, Ikigai Law, August 2023 (https://www.ikigailaw.com/summary-of-the-digital-personal-data-protection-bill-2023/)
- The diffusion deficit in scientific and tech-nological power: re-assessing China's rise, Jeffrey Ding, Review of International Political Economy, DOI: 10.1080/09692290.2023.2173633 , 2023 (https://doi.org/10.1080/09692290.2023. 2173633)

- China races ahead of US on AI regulation, Ryan Heath, Axios AI+, May 2023 (https://www.axios.com/2023/05/08/china-ai-regula-tion-race)
- An AI Challenge: Balancing Open and Closed Systems, Pablo Chavez, Bandwidth Online Journal, CEPA, May 2023 (https://cepa.org/ article/an-ai-challenge-balancing-open-and-closed-systems/)
- The PLA on Generative AI, Irene Zhang, ChinaTalk, May 2023 (https://www.chinatalk.media/p/the-pla-on-generative-ai-nyc-meetup)

- China's New AI Regulations: Are they enforceable, Irene Zhang, ChinaTalk, April 2023 (https://www.chinatalk.media/p/chinas-new-ai-regulations-are-they)

- Rebooting AI in India, Shailesh Chitnis, Takshashila Discussion Document, Document No. 2023-05, March 2023 (https://takshashila.org.in/research/rebooting-ai-india)

- Khemani, Deepak. 2012. 'A Perspective on AI Research in India', AI Magazine, 33 (1): Spring, 96–98.

- National Strategy for AI Discussion Paper, Niti Aayog, June 2018 (https://indiaai.gov.in/documents/pdf/NationalStrategy-for-AI-Discus-sion-Paper.pdf)

- Artificial Intelligence TaskForce Report, Ministry of Commerce, Government of India, 2018 (https://dipp.nic.in/whats-new/re-port-task-force-artificial-intelligence)

- Towards DPGI 2.0: A case for deep-tech public goods, Shashi Shekhar Vempati, Business Standard, August 2023 (https://www.busi-ness-standard.com/opinion/columns/to-wards-dpgi-2-0-a-case-for-deep-tech-public-goods-123082801345_1.html)

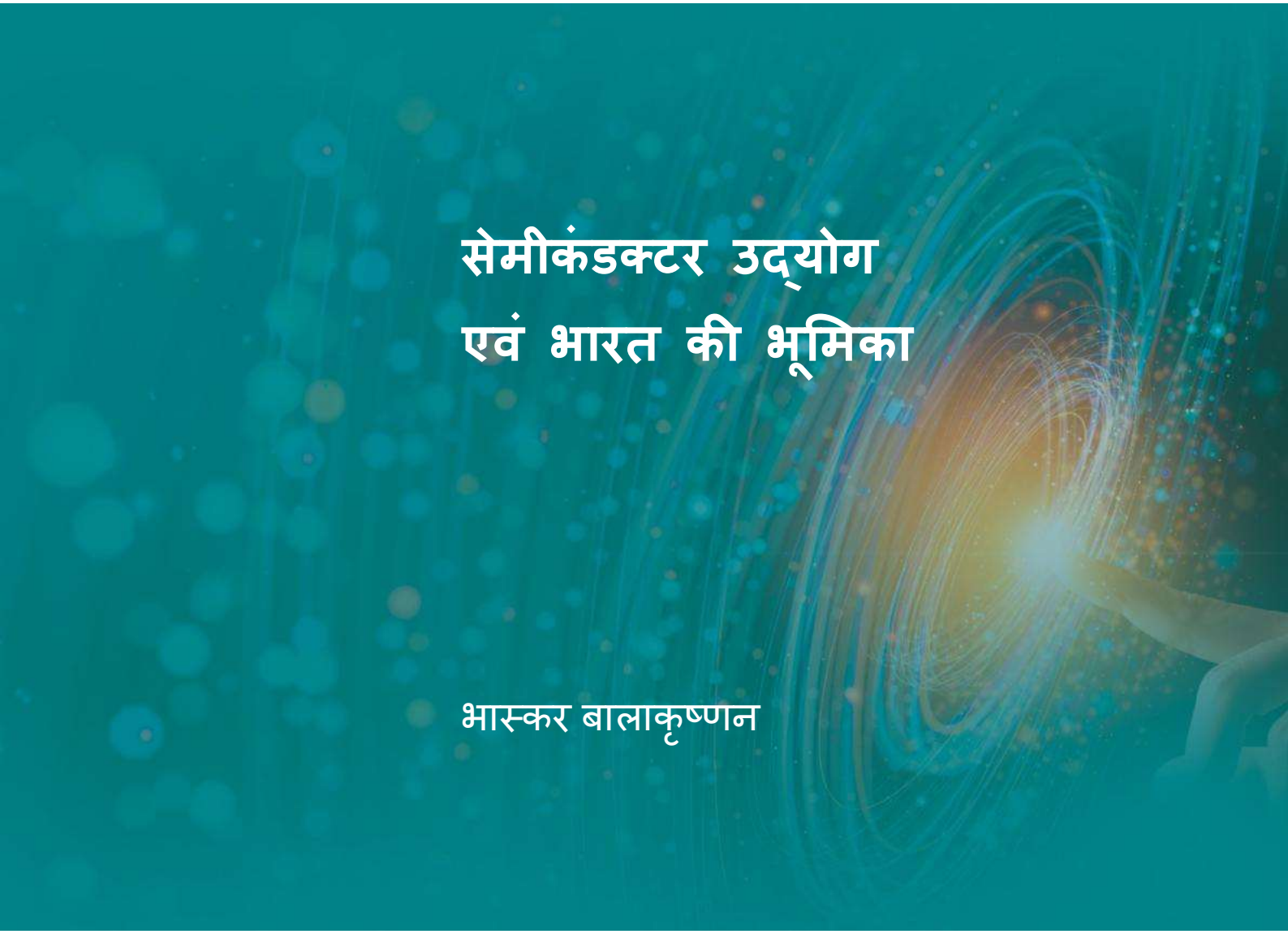
- The international significance of India's Digital Public Infrastructure, Amitabh Kant and Satwik Mishra, World Economic Forum, August 2023 (https://www.weforum.org/agenda/2023/08/the-international-significance-of-indias-digital-public-infrastructure/)

- The AI Power Paradox - Can States Learn to Govern Artificial Intelligence—Before It's Too Late?, Ian Bremmer and Mustafa Suley-man, Foreign Affairs Magazine, Sept-Oct 2023 (https://www.foreignaffairs.com/world/artificial-intelligence-power-paradox)

- 'Collective Spirit Concrete Action – Mann ki Baat and its influence on India', Shashi Shekhar Vempati, Rupa Publications, April 2023

- India's AI Opportunity, Brad Smith, Microsoft's Report – Governing AI: a Blueprint for India, August 2023 (https://blogs.microsoft.com/ on-the-issues/2023/08/23/indias-ai-opportu-nity/)
- AI Ecosystem for India, Shashi Shekhar Vem-pati, Business Standard, May 2023 (https:// www.business-standard.com/opinion/col-umns/ai-ecosystem-for-india-123051001275_1. html)
- Expert session on AI Technology Ecosystem - Imperatives and Opportunities for India, AI for India Forum, March 2023 (https://uploads. strikinglycdn.com/files/daf7cee7-52a7-42e1-b299-22d7779a8af6/Final%20Making%20AI%20 Applications%20for%20India.pdf)
- Expert session on Making AI Applications for India, AI for India Forum, June 2023 (https:// uploads.strikinglycdn.com/files/48de7110-0982-415e-80d8-ac009b22dce9/Final%20AI%20 Technology%20Ecosystem%20in%20India.pdf)
- How to govern the AI industry must be accorded high priority, Nitin Pai, Livemint, August 2023 (https://www.livemint.com/ opinion/online-views/how-to-govern-the-ai-industry-must-be-accorded-high-priori-ty-11691942380385.html)
- G20 Symbol and Political Debate in India, Abhinav Mehrotra and Dr.Biswanath Gupta, The GeoPolitics, December 2022 (https://the-geopolitics.com/g20-symbol-and-political-de-bate-in-india/)
- India & Global Partnership on Artificial Intel-ligence, Vikas Swarup, Diplomatic Dispatch – Sansad TV Episode 57, Nov 2022 (https://youtu. be/IrNCXKQsCtU?si=jV9jzs1aSElc83HB)

सेमीकंडक्टर उद्योग एवं भारत की भूमिका



भास्कर बालाकृष्णन

उभरती प्रौद्योगिकियाँ
और
भारतीय कूटनीति

कृत्रिम बुद्धिमत्ता | सेमीकंडक्टर | नैनोटेक्नोलॉजी

प्रस्तावना

यह लेख वैश्विक सेमीकंडक्टर उद्योग एवं तकनीकी में हालिया परिवर्तनों पर अंतर्दृष्टि प्रदान करता है। इस लेख में प्रमुख पक्षों की भूमिका के साथ-साथ आपूर्ति श्रृंखला से संबंधित समस्या पर भी चर्च की गई है। भारत की सेमीकंडक्टर नीति एवं उद्योग में हालिया बदलाव और प्रमुख सेमीकंडक्टर औद्योगिक देशों के साथ भारत के विभिन्न जुड़ावों पर भी चर्चा की गई है। नई तकनीक और दुर्लभ भू व नई सामग्रियों, तथा नवीकरणीय ऊर्जा के साथ अंतर्संबंधों के प्रभाव का भी आकलन किया गया है।

संदर्भ

अर्धचालक या सेमीकंडक्टर वे सामग्रियां हैं जिनकी चालकता तांबा जैसे चालक, और कांच जैसे इन्सुलेटर के बीच होती है। जैसे-जैसे इसका तापमान बढ़ता है, धातुओं की तुलना में इसकी प्रतिरोधकता कम हो जाती है, जो विपरीत तरीके से व्यवहार करती हैं।(1) क्रिस्टल संरचना में अशुद्धियों ("डोपिंग") के ज़रिए इसके संचालन गुणों को उपयोगी तरीकों से बदला जा सकता है। जब एक ही क्रिस्टल में दो अलग-अलग डोप किए गए क्षेत्र मौजूद होते हैं, तो एक अर्धचालक जंक्शन बनता है जो डायोड, ट्रांजिस्टर एवं आधुनिक इलेक्ट्रॉनिक्स का आधार होता है। बड़ी संख्या में तत्वों एवं यौगिकों में सिलिकॉन और जर्मेनियम; बाइनरी यौगिक, जैसे गैलियम आर्सेनाइड, सिलिकॉन कार्बाइड; एवं कार्बनिक यौगिकों से बने कार्बनिक अर्धचालक; और अर्धचालक धातु-कार्बनिक ढाँचे जैसे अर्धचालक गुण होते हैं। सिलिकॉन के बाद, गैलियम आर्सेनाइड दूसरा सबसे सामान्य अर्धचालक है। ज्यादातर इलेक्ट्रॉनिक सर्किट को बनाने के लिए सिलिकॉन एक महत्वपूर्ण तत्व है। सेमीकंडक्टर का सबसे अधिक इस्तेमाल ऐसे इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में किया जाता है, जिनमें पुरानी वैक्यूम ट्यूब तकनीक को प्रतिस्थापित कर दिया गया है। अर्धचालक एक प्रमुख सक्षम प्रौद्योगिकी है। ये कृत्रिम बुद्धिमत्ता, स्वायत्त प्रणाली, 5जी संचार और क्वांटम कंप्यूटिंग जैसी अन्य उभरती प्रौद्योगिकियों के आवश्यक तत्व हैं। लागत में कटौती के साथ, सेमीकंडक्टर क्षमताओं एवं प्रदर्शन में वृद्धि, आर्थिक उत्पादन एवं उत्पादकता को बढ़ा सकती है और नए उत्पादों, सेवाओं एवं उद्योगों को सक्षम कर सकती है।(2) सेमीकंडक्टर उद्योग और इसके द्वारा सक्षम औद्योगिक गतिविधियाँ एवं प्रणालियाँ तकनीकी और औद्योगिक प्रतिस्पर्धात्मकता और राष्ट्रीय सुरक्षा का आधार हैं।

सेमीकंडक्टर उद्योग की पृष्ठभूमि

2012 से 2022 तक सेमीकंडक्टर चिप्स की वैश्विक बिक्री दोगुनी होकर 602 बिलियन डॉलर हो गई। सेमीकंडक्टर के क्षेत्र में सुधार करना महत्वपूर्ण है और उद्योग में विभिन्न प्रकार के चिप्स के प्रदर्शन एवं ऊर्जा दक्षता में सुधार करने पर काम जारी है।

सेमीकंडक्टर उपकरण (जिन्हें इंटीग्रेटेड सर्किट, माइक्रोइलेक्ट्रॉनिक चिप्स या कंप्यूटर चिप्स के रूप में भी जाना जाता है) ऐसे छोटे इलेक्ट्रॉनिक उपकरण हैं (मुख्यतः सिलिकॉन या जर्मेनियम पर आधारित) जो ऐसे अरबों घटकों से बने होते हैं जो डेटा या सिग्नल को प्रोसेस, स्टोर, सेंस एवं स्थानांतरित कर सकते हैं। सेमीकंडक्टर चिप्स के कार्य अलग-अलग हो सकते हैं - लॉजिक चिप्स, मेमोरी चिप्स, एनालॉग चिप्स और ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक्स, सेंसर, डिस्क्रेट्स (ओएसडी)। प्रत्येक के लिए विशेष डिजाइन एवं विनिर्माण प्रक्रियाओं की आवश्यकता होती है। 2012 से 2022 तक सेमीकंडक्टर चिप्स की वैश्विक बिक्री दोगुनी होकर 602 बिलियन डॉलर हो गई। सेमीकंडक्टर के क्षेत्र में सुधार करना महत्वपूर्ण है और उद्योग में विभिन्न प्रकार के चिप्स के प्रदर्शन एवं ऊर्जा दक्षता में सुधार करने पर काम जारी है, जिसमें सघन सर्किट, नए आर्किटेक्चर और नई सामग्रियों से चिप्स बनाना शामिल है। टेक्नोलॉजी नोड आम तौर पर नैनोमीटर (एनएम), या मीटर के 1 अरबवें हिस्से में मापे गए चिप्स पर

प्रमुख इलेक्ट्रॉनिक्स के आकार का प्रतिनिधित्व करता है। समय के साथ, इन सुविधाओं का आकार लगातार कम होता गया है, जिससे एक ही चिप पर कई घटकों की अनुमति देकर उसे उच्च प्रदर्शन में सक्षम किया जा सका है। आम तौर पर, नोड का आकार जितना छोटा होगा, सेमीकंडक्टर तकनीक उतनी ही अधिक उन्नत होगी। कई प्रकार के नोड्स का अभी उत्पादन किया जा रहा है। लॉजिक चिप्स के लिए, इनमें सबसे उन्नत 3 एनएम नोड से लेकर, जिसका उत्पादन 2022 में शुरू हुआ, 250 एनएम से अधिक परिपक्व पीढ़ी के नोड्स तक शामिल हैं। 2021 में, वैश्विक सेमीकंडक्टर उत्पादन क्षमता का 84% 16 एनएम से अधिक नोड्स वाला था। अर्धचालकों की इन परिपक्व पीढ़ियों की अभी भी अधिक मांग है।

सेमीकंडक्टर विनिर्माण प्रौद्योगिकी

अर्धचालक उपकरणों के विनिर्माण में कई तकनीकी चुनौतियाँ आती हैं। उपयुक्त सेमीकंडक्टर सामग्री बनाने के लिए, उच्च रासायनिक शुद्धता के साथ-साथ उच्च स्तर की क्रिस्टलीय सटीकता आवश्यक है। क्रिस्टल जितना बड़ा होगा, आवश्यक सटीकता हासिल करना उतना ही कठिन होगा। वर्तमान बड़े पैमाने पर उत्पादन प्रक्रियाओं में 100 और 300 मिमी व्यास वाले क्रिस्टल सिल्लियों का उपयोग किया जाता है, जिन्हें सिलेंडर के रूप में बनाया जाता है और वेफर्स में काटा जाता है। सिलिकॉन सेमीकंडक्टर वेफर्स को कमर्शियल उपकरणों में बदलने के लिए कई प्रक्रियाओं का उपयोग किया जाता है। इसका पहला चरण थर्मल ऑक्सीकरण है, जिसमें सिलिकॉन की सतह पर सिलिकॉन डाइऑक्साइड बनता है और एकीकृत सर्किट में सर्किट पर पैटर्न बनाने के लिए फोटोमास्क और फोटोलिथोग्राफी का उपयोग किया जाता है। अगली प्रक्रिया निक्षारण है जिसमें सिलिकॉन के उस हिस्से को हटा दिया है जो पिछले चरण में फोटोरेसिस्ट परत द्वारा कवर नहीं थी। अंतिम प्रक्रिया को विसरण या डोपिंग कहा जाता है। सिलिकॉन वेफर में एम्बेडेड अशुद्ध परमाणुओं को प्राप्त करने हेतु वेफर को पहले 1100 डिग्री सेल्सियस वाले चेम्बर में रखा जाता है। परमाणुओं को अंतःक्षेपित किया जाता है और अंततः सिलिकॉन के साथ इसका विसरण किया जाता है। इस प्रक्रिया के पूरी होने के पश्चात, अर्धचालक सामग्री एक एकीकृत सर्किट में उपयोग के लिए तैयार होती है।

सेमीकंडक्टर की आपूर्ति श्रृंखलाएँ

सेमीकंडक्टर का इकोसिस्टम और आपूर्ति श्रृंखला जटिल है और इसमें कई क्षेत्र आते हैं। इनमें शामिल हैं (1) अनुसंधान एवं विकास जिससे आपूर्ति श्रृंखला के सभी क्षेत्र आगे बढ़ते है। (2) उत्पादन जिसके तीन प्रमुख चरण : डिज़ाइन, निर्माण, और असेंबली, परीक्षण और पैकेजिंग (एटीपी) हैं। ये चरण या तो एक ही फर्म में होते हैं - एक एकीकृत डिवाइस निर्माता (आईडीएम) जो चिप बेचता है - या अलग-अलग फर्मों में, जहां कोई फैबलेस फर्म चिप डिजाइन करती है और बेचती है और किसी फाउंड्री से फैब्रिकेशन सेवाएं खरीदती है और आउटसोर्स सेमीकंडक्टर असेंबली और टेस्ट (ओएसएटी) फर्म से एटीपी सेवाएं खरीदती है। उत्पादन के लिए कई इनपुट : सामग्री, अर्धचालक विनिर्माण उपकरण (एसएमई), इलेक्ट्रॉनिक डिजाइन स्वचालन (ईडीए), और मुख्य बौद्धिक संपदा (आईपी) की आवश्यकता होती है। (3) डिज़ाइन में विशिष्टता, लॉजिक डिज़ाइन, भौतिक डिज़ाइन और मान्यकरण एवं सत्यापन शामिल है।

सेमीकंडक्टर इकोसिस्टम एवं आपूर्ति श्रृंखला जटिल है और इसमें कई क्षेत्र शामिल हैं।

कुल मिलाकर, संयुक्त राज्य अमेरिका और उसके सहयोगी सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला के हर क्षेत्र में अंतरराष्ट्रीय स्तर पर प्रतिस्पर्धी हैं।

ईडीए ऐसा सॉफ्टवेयर है जिसका उपयोग चिप्स को उनकी संवर्धित जटिलता के कारण डिजाइन करने हेतु किया जाता है। कोर आईपी में डिज़ाइन के पुन: प्रयोज्य मॉड्यूलर हिस्से होते हैं, जो डिज़ाइन फर्मों को लाइसेंस देने और उन्हें अपने डिज़ाइन में शामिल करने की अनुमति देते हैं। (4) फैब्रिकेशन में विभिन्न एसएमई एवं सामग्रियों पर निर्भर होकर डिजाइनों को चिप्स में परिवर्तित किया जाता है। सबसे पहले, कोई भट्ठी सिलिकॉन (या अन्य अर्धचालक सामग्री) का एक सिलेंडर बनाती है, जिसे बाद में डिस्क के आकार के वेफर्स में काटा जाता है। सेमीकंडक्टर निर्माण सुविधाएं ("फैब्स") इन वेफर्स में चिप्स बनाती हैं। (5) असेंबली, परीक्षण एवं पैकेजिंग निर्मित वेफर को काटने से शुरू होती है - जिसमें निर्माण के बाद ग्रिड पैटर्न में दर्जनों चिप्स होते हैं। प्रत्येक चिप को तारों के साथ एक फ्रेम पर लगाया जाता है जो चिप को बाहरी उपकरणों से जोड़ता है, और इसमें सुरक्षात्मक आवरण में संलग्न होता है। यह सुनिश्चित करने हेतु चिप का परीक्षण भी किया जाता है कि यह अपेक्षा के अनुरूप काम कर रहा है या नहीं। एटीपी को विभिन्न एसएमई और सामग्रियों की भी आवश्यकता होती है। हर एक चरण जटिल है, जिसके लिए कई उप-चरणों की आवश्यकता होती है। विनिर्माण प्रक्रिया की परमाणु परिशुद्धता के लिए धूल के कणों से मुक्त साफ-सुथरे कमरों की आवश्यकता होती है, जो चिप निर्माण में बाधा हो सकती है। इसके मुख्य उपयोग में स्मार्टफोन, लैपटॉप, सर्वर, संचार उपकरण एवं ऑटोमोबाइल जैसे उत्पादों में एकीकरण हेतु चिप्स का वितरण शामिल है। तालिका 1 प्रत्येक आपूर्ति श्रृंखला खंड के अर्धचालक मूल्य में योगदान का आकलन है।

संयुक्त राज्य अमेरिका कुछ फैब टूल्स जैसे लिथोग्राफी उपकरण और वेफर्स सहित सामग्रियों के उत्पादन को छोड़कर अधिकांश क्षेत्रों में काफी आगे है। कुल मिलाकर, संयुक्त राज्य अमेरिका और उसके सहयोगी देश सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला के हर क्षेत्र में अंतरराष्ट्रीय स्तर पर प्रतिस्पर्धी हैं।

तालिका 1: खंड और फर्म वार सेमीकंडक्टर मूल्य वर्धित एवं बाजार हिस्सेदारी

	मूल्य वर्धित खंड	बाजार हिस्सेदारी						
		यूएस	दक्षिण कोरिया	जापान	ताइवान	यूरोप	चीन	अन्य
ईडीए	1.5%	96%	<1%	3%	0%	0%	<1%	0%
कोर आईपी	0.9%	52%	0%	0%	1%	43%	2%	2%
वेफर्स	2.5%	0%	10%	56%	16%	14%	4%	0%
फैब उपकरण	14.9%	44%	2%	29%	<1%	23%	1%	1%
एटीपी उपकरण	2.4%	23%	9%	44%	3%	6%	9%	7%
डिज़ाइन	29.8%	47%	19%	10%	6%	10%	5%	3%
फैब	38.4%	33%	22%	10%	19%	8%	7%	1%
एटीपी	9.6%	28%	13%	7%	29%	5%	14%	4%
कुल मूल्य वर्धन		**39%**	**16%**	**14%**	**12%**	**11%**	**6%**	**2%**

सेमीकंडक्टर बाज़ार

लॉजिक चिप्स

लॉजिक चिप्स आमतौर पर माइक्रोप्रोसेसर एवं माइक्रोकंट्रोलर सहित कंप्यूटिंग उपकरणों के "मस्तिष्क" के रूप में कार्य करते हैं। एनालिटिक्स तथा मशीन इंटेलिजेंस जैसे विशेष कार्यों के लिए कस्टम-डिज़ाइन किए गए लॉजिक चिप्स का उपयोग - जिन्हें एक्सेलेरेटर भी कहा जाता है - का भी इस्तमोल हो रहा है। लॉजिक चिप्स के इस्तेमाल वाले सबसे अधिक बड़े बाजारों में स्मार्टफोन, हाई-पर्फॉमेंस कंप्यूटिंग, इंटरनेट ऑफ थिंग्स डिवाइस और ऑटोमोटिव क्षेत्र शामिल हैं। 2021 में कुल वैश्विक सेमीकंडक्टर बिक्री में लॉजिक चिप्स की हिस्सेदारी सबसे अधिक लगभग 42% ($232 बिलियन) थी। 2020 में, वैश्विक लॉजिक चिप निर्माण क्षमता का लगभग 13% संयुक्त राज्य अमेरिका में, अन्य ताइवान (35%) और चीन (23%) में होता था। अधिकांश अमेरिकी स्वामित्व वाली लॉजिक चिप विनिर्माण सुविधाएं (फैब्रिकेशन सुविधाएं या "फैब्स") इंटेल जैसे एकीकृत डिवाइस निर्माताओं (आईडीएम) द्वारा दुनिया भर में संचालित की जाती हैं। लॉजिक चिप्स के उत्पादन की 80% से अधिक वैश्विक क्षमता का स्वामित्व फाउंड्रीज़ नामक अनुबंध निर्माताओं के पास है। लॉजिक चिप फाउंड्री सेगमेंट के लिए, अमेरिकी क्षमता 2020 में वैश्विक फाउंड्री क्षमता का 7% थी। 2022 में, टीएसएमसी (ताइवान) के पास वैश्विक लॉजिक चिप फाउंड्री क्षमता का लगभग आधा हिस्सा था। फरवरी 2023 तक, दो कंपनियों, टीएसएमसी और सैमसंग फाउंड्रीज़ के पास 5 नैनोमीटर (एनएम) और 3 एनएम चिप्स सहित लॉजिक चिप टेक्नोलॉजी की सबसे उन्नत पीढ़ियों का निर्माण करने में सक्षम फाउंड्रीज़ थीं।

जैसे-जैसे तकनीक 3 एनएम तक एडवांस हुई है, लॉजिक चिप्स को डिजाइन करने की लागत काफी बढ़ गई है। संयुक्त राज्य अमेरिका लॉजिक चिप डिजाइन में वैश्विक स्तर पर अग्रणी रहा है, 2021 में लॉजिक चिप की बिक्री से राजस्व का 64% हिस्सा अमेरिकी मुख्यालय वाली फर्मों के पास था। हालाँकि, कई अमेरिकी डिज़ाइन फर्मों के पास अपनी स्वयं की निर्माण सुविधाएं नहीं हैं और वे अपने डिज़ाइनों का उत्पादन संयुक्त राज्य अमेरिका के बाहर स्थित विदेशी स्वामित्व वाली फाउंड्रीज़ को आउटसोर्स करते हैं। केवल कुछ अन्य लॉजिक चिप निर्माता अग्रणी-एज़ चिप्स का उत्पादन कर पाते हैं, और वे 3 एनएम/5 एनएम नोड्स से एक या दो पीढ़ी पीछे हैं। एडवांस नोड्स का उत्पादन करने के लिए उपकरण और सॉफ़्टवेयर पर निर्यात प्रतिबंध, चीन के एसएमआईसी को उच्च गुणवत्ता पर 7 एनएम चिप्स का उत्पादन करने या अधिक एडवांस चिप्स का उत्पादन करने में बाधा उत्पन्न कर सकता है।

2021 में कुल वैश्विक सेमीकंडक्टर बिक्री में लॉजिक चिप्स की हिस्सेदारी सबसे अधिक, लगभग 42% ($232 बिलियन) थी। 2020 में, वैश्विक लॉजिक चिप निर्माण क्षमता का लगभग 13% भौतिक रूप से संयुक्त राज्य अमेरिका में, अन्य ताइवान (35%) और चीन (23%) में स्थित था।

मेमोरी चिप्स

मेमोरी चिप्स का इस्तेमाल डेटा को स्टोर करने हेतु किया जाता है और यह दो प्रकार के होते हैं। डायनेमिक रैंडम-एक्सेस मेमोरी (डीआरएएम) डिवाइस चालू होने पर कुछ समय तक डेटा स्टोर रखती है, जबकि एनएएनडी फ्लैश डिवाइस बंद होने के बाद भी लंबे समय तक डेटा स्टोर रखता है। एनएएनडी फ्लैश मेमोरी चिप्स के लिए प्रौद्योगिकी की प्रगति में मेमोरी सेल की परतों को एक दूसरे के ऊपर रखना शामिल है। इसके अलावा, 3डी एनएएनडी में 30 एनएम और 50 एनएम के बीच एक पुराने प्रक्रिया नोड का उपयोग किया जा सकता है, जिससे लागत एवं जटिलता कम हो जाती है। डिवाइस में स्टैक्ड परतों की संख्या 2013 में 24 परतों से बढ़कर जुलाई 2022 तक 200 से अधिक परतें हो गई है। मेमोरी चिप्स को लॉजिक चिप्स की तुलना में अधिक कमोडिटाइज़ किया जाता है, जो कि लॉजिक चिप उत्पादन के लिए उपयोग किए जाने वाले डिज़ाइनों की तुलना में कम एप्लिकेशन-विशिष्ट होते हैं। मेमोरी चिप्स के सबसे बड़े एप्लिकेशन बाजारों में मोबाइल फोन, डेटा सेंटर और व्यक्तिगत कंप्यूटिंग डिवाइस शामिल हैं।

2021 में वैश्विक सेमीकंडक्टर बिक्री में मेमोरी चिप्स की हिस्सेदारी लगभग 28% ($154 बिलियन) थी। अधिकांश मेमोरी चिप्स कमर्शियल उपयोग के लिए कमोडिटीकृत उत्पाद हैं और पैमाने की अर्थव्यवस्थाओं से लाभान्वित होते हैं, जिससे समेकन हेतु दबाव और प्रोत्साहन पैदा होता है। डीआरएएम मेमोरी चिप की बिक्री के लिए, कोरियाई मुख्यालय वाले सैमसंग और एसके हाइनिक्स ने 2021 में बाजार हिस्सेदारी का 70% से अधिक हिस्सा लिया; अमेरिका-स्थित माइक्रोन का हिस्सा लगभग 23% था। एनएएनडी फ्लैश मेमोरी बिक्री के लिए, कोरिया-मुख्यालय वाली कंपनियों सैमसंग और एसके हाइनिक्स और जापान-मुख्यालय वाली कियॉक्सिया की 2021 में बाजार हिस्सेदारी लगभग 53% थी, और यूएस-मुख्यालय वाले वेस्टर्न डिजिटल एवं माइक्रोन की बाजार हिस्सेदारी लगभग 33% थी। माइक्रोन, सैमसंग और एसके हाइनिक्स प्रति चिप 200 से अधिक परतों का उत्पादन करके उच्चतम मेमोरी घनत्व वाले 3डी एनएएनडी चिप्स का बड़े पैमाने पर उत्पादन करने के लिए प्रतिस्पर्धा कर रहे हैं।

चीन की औद्योगिक नीतियों में मेमोरी चिप सेगमेंट में प्रमुख अग्रणी को स्थापित करने की मांग की जा रही है।

चीन की औद्योगिक नीतियों में मेमोरी चिप सेगमेंट में प्रमुख अग्रणी को स्थापित करने की मांग की जा रही है। 2016 से, चीन की चिप निर्माता यांग्त्ज़ी मेमोरी टेक्नोलॉजीज कॉर्पोरेशन (वाईएमटीसी) ने पीआरसी सरकार से 24 बिलियन डॉलर की सब्सिडी के साथ विकास किया है।

2016 से, चीन की चिप निर्माता यांग्त्ज़ी मेमोरी टेक्नोलॉजीज कॉर्पोरेशन (वाईएमटीसी) ने पीआरसी सरकार से 24 बिलियन डॉलर की सब्सिडी के साथ विकास किया है। नवंबर 2022 में, एक रिवर्स इंजीनियरिंग फर्म ने दावा किया कि वाईएमटीसी ने 232 परतों के साथ एक उन्नत 3D एनएएनडी चिप का उत्पादन करने हेतु एक विशिष्ट विनिर्माण दृष्टिकोण का उपयोग किया था। हालाँकि, निर्यात प्रतिबंधों एवं दिसंबर 2022 में वाईएमटीसी को यूनिट सूची में शामिल करने के साथ, वाईएमटीसी को विनिर्माण क्षमता बाजार को बढ़ाने में कड़ी चुनौतियों का सामना करना पड़ सकता है।

एनालॉग चिप्स

एनालॉग चिप्स के कई कार्य होते हैं, जिसमें एनालॉग सिग्नल को परिवर्तित एवं संशोधित करने हेतु सेंसर के साथ काम करना भी शामिल है। इनका उपयोग ऊर्जा प्रबंधन, संचार और सैन्य पहचान व निगरानी उपकरणों के लिए किया जाता है। विश्व स्तर पर, आधे से अधिक एनालॉग चिप बाजार "एप्लिकेशन-विशिष्ट" एनालॉग उपकरणों में इस्तेमाल होते हैं जो विशिष्ट अंतिम-उपयोगकर्ताओं के लिए अनुकूलित किए गए होते हैं और छोटे-छोटे बैचों में उत्पादित होते हैं। उच्च तापमान और वोल्टेज पर संचालन के लिए अगली पीढ़ी के ऊर्जा प्रबंधन और अन्य चिप्स को सिलिकॉन के अलावा सिलिकॉन कार्बाइड (SiC) और गैलियम नाइट्राइड (GaN) जैसे अर्धचालक सामग्रियों (वाइड-गैप) से तैयार किया जा रहा है। इलेक्ट्रिक वाहनों के बढ़ते उत्पादन के साथ-साथ अक्षय ऊर्जा उत्पादन को इलेक्ट्रिक ग्रिड में एकीकृत करने हेतु तीव्र परिष्कृत प्रणालियों की आवश्यकता के कारण, आने वाले वर्षों में वाइड बैंड-गैप अर्धचालकों की मांग बढ़ने की संभावना है।

GaN अर्धचालकों का उपयोग उपभोक्ता इलेक्ट्रॉनिक्स के लिए फास्ट-चार्जिंग एप्लिकेशन के साथ-साथ एयरोस्पेस और रक्षा एप्लिकेशन में किया जाता है, जहां वे सिलिकॉन-आधारित उपकरणों की तुलना में उच्च-विकिरण वातावरण में बेहतर विश्वसनीयता दिखाते हैं।

2021 में वैश्विक सेमीकंडक्टर बिक्री में एनालॉग चिप्स का हिस्सा लगभग 13% ($74 बिलियन) था। राजस्व के हिसाब से शीर्ष एनालॉग चिप प्रदाताओं में से अधिकांश आईडीएम हैं जो अपने चिप्स को इन-हाउस ही डिजाइन एवं निर्मित करते हैं। एनालॉग चिप्स को आम तौर पर विभिन्न अंतिम उपयोगों हेतु विशेष तरीके से डिजाइन की आवश्यकता होती है, जिससे अर्धचालकों की परिपक्व पीढ़ियों पर निर्मित विशेष उत्पादों की अपेक्षाकृत कम मात्रा का उत्पादन होता है। 2019 के बाद से, सेमीकंडक्टर उद्योग ने SiC सेमीकंडक्टर्स के उत्पादन में $15 बिलियन से अधिक का निवेश किया है।

विदेशी सेमीकंडक्टर फर्मों का अधिग्रहण करने के चीन के प्रयासों (जैसे कि चीनी कंपनी नेक्सपेरिया की यूके-मुख्यालय न्यूपोर्ट वेफर फैब हेतु बोली लगाने का प्रयास, जिसे हाल ही में यूके सरकार द्वारा अवरुद्ध कर दिया गया है) ने संभावित शक्ति एवं रक्षा अनुप्रयोगों के साथ मिश्रित सेमीकंडक्टर में चीन की क्षमताओं को आगे बढ़ाने की ओर इशारा करता है।

वैश्विक स्तर पर SiC वेफर्स के प्रमुख आपूर्तिकर्ता अमेरिका-स्थित वोल्फस्पीड एंड कोहेरेंट कॉर्पोरेशन हैं। अधिकांश GaN वेफर्स ताइवान में उत्पादित होते हैं। 2021 में, वैश्विक स्तर पर तीन प्रमुख एनालॉग आपूर्तिकर्ता अमेरिकी कंपनियां थीं: टेक्सास इंस्ट्रूमेंट्स, एनालॉग डिवाइसेस और स्काईवर्क्स सॉल्यूशंस। सामूहिक रूप से, इन कंपनियों का वैश्विक बाजार में लगभग 40% हिस्सा था। अन्य एनालॉग आपूर्तिकर्ताओं में यूरोप-आधारित इन्फ़िनॉन एंड एसटीएमइक्रोइलेक्ट्रॉनिक्स, साथ ही यू.एस.-आधारित क्वोरवो, ओएन सेमी और माइक्रोचिप शामिल हैं। एनालॉग आपूर्तिकर्ता अपने उत्पादों का उत्पादन करने के लिए इन-हाउस और फाउंड्री सेवाओं के संयोजन का इस्तेमाल करते हैं।

ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक्स, सेंसर, डिस्क्रीट्स (ओएसडी)

ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक अर्धचालकों का उपयोग प्रकाश के साथ अंत:क्रिया करने या उत्पन्न करने हेतु किया जाता है। इसके उपयोग में प्रकाश उत्सर्जक डायोड (एलईडी); इमेज सेंसर, कैमरे में उपयोग किए जाने वाले सेंसर; और लेजर डायोड, संचार में उपयोग किए जाने वाले फाइबर ऑप्टिक शामिल हैं।

अन्य सेंसर अनुप्रयोगों में तापमान, दबाव व त्वरण जैसी विशेषताओं का पता लगाने या नियंत्रित करने के लिए डिज़ाइन किए गए अर्धचालक शामिल हैं। उपभोक्ता इलेक्ट्रॉनिक्स में सेंसर के अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला है। असतत अर्धचालक आमतौर पर एक ही विद्युत कार्य करते हैं। इस प्रकार के अर्धचालक आमतौर पर परिपक्व नोड तकनीकी का उपयोग करके उत्पादित किए जाते हैं।

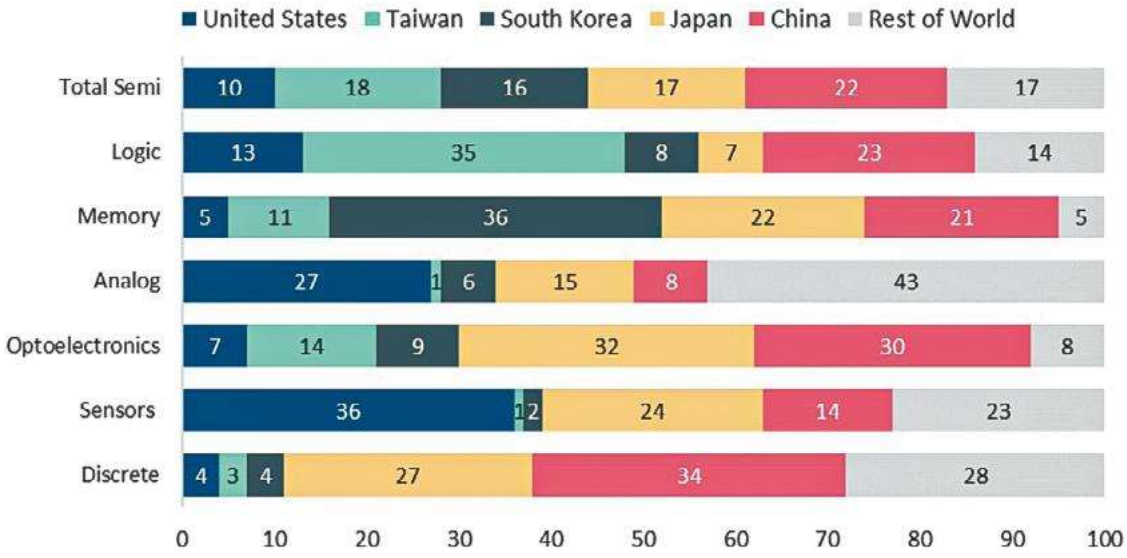
इस प्रकार के अर्धचालकों की सामूहिक रूप से 2021 में वैश्विक अर्धचालक बिक्री में लगभग 17% ($96 बिलियन) हिस्सेदारी थी। इन अर्धचालकों के लिए बाजार विविध है, कई निर्माता अंतिम अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला का समर्थन करते हैं। इसके निर्माताओं में यू.एस.-आधारित डायोड्स इंक., विशय इंटरटेक्नोलॉजी, कोरवो, डीपिक्स और क्री शामिल हैं। अन्य प्रमुख आपूर्तिकर्ताओं में यूरोप-मुख्यालय वाली कंपनियां एबीबी लिमिटेड, इन्फिनियन टेक्नोलॉजीज, और एसटीएम इक्रोइलेक्ट्रॉनिक्स, और जापान-

मुख्यालय वाली तोशिबा शामिल हैं। चीन की औद्योगिक नीतियां सानान जैसे राष्ट्रीय ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक सेमीकंडक्टर चैंपियन का समर्थन करती हैं। विदेशी सेमीकंडक्टर फर्मों का अधिग्रहण करने के चीन के प्रयासों (जैसे कि चीनी कंपनी नेक्सपेरिया की यूके-मुख्यालय न्यूपोर्ट वेफर फैब हेतु बोली लगाने का प्रयास, जिसे हाल ही में यूके सरकार द्वारा अवरुद्ध कर दिया गया है) ने संभावित शक्ति एवं रक्षा अनुप्रयोगों के साथ मिश्रित सेमीकंडक्टर में चीन की क्षमताओं को आगे बढ़ाने की ओर इशारा करता है।

सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकी में प्रमुख देश

2020 में वैश्विक चिप निर्माण क्षमता का अधिकांश हिस्सा संयुक्त राज्य अमेरिका (22%), दक्षिण कोरिया (20%), ताइवान (19%), चीन (15%), और जापान (12%) की कंपनियों के पास था। ये कंपनियाँ अपनी विनिर्माण सुविधाएँ अधिकतर एक ही देश में स्थापित करती हैं, लेकिन विभिन्न देशों की विनिर्माण हिस्सेदारी चिप टाइप के अनुसार भिन्न-भिन्न (तालिका 2) होती है। चीन समग्र रूप से पीछे है, लेकिन कुछ क्षेत्रों में प्रगति कर रहा है। यह एटीपी, असेंबली एवं पैकेजिंग के उपकरण और कच्चे माल में अग्रणी है। इसमें डिज़ाइन, फैब्रिकेशन, सीएमपी टूल्स और कुछ क्लीन टूल्स में मध्यम और बढ़ती क्षमताएं शामिल हैं। चीन को अधिकांश एसएमई सहित अन्य क्षेत्रों में चुनौतियों का सामना करना पड़ रहा है। इसकी सबसे बड़ी कमजोरियां ईडीए, कोर आईपी, कुछ फैब सामग्री (विशेष रूप से फोटोरेसिस्ट), अग्रणी एज़ लॉजिक फैब क्षमता और कुछ एसएमई हैं। इन एसएमई में लिथोग्राफी उपकरण (सबसे महत्वपूर्ण, ऊच्च पराबैंगनी स्कैनर और आर्गन फ्लोराइड विसर्जन स्कैनर), प्रक्रिया नियंत्रक उपकरण, परीक्षण उपकरण, परमाणु परत ईच, वेफर और मास्क हैंडलिंग उपकरण, उन्नत निक्षेप उपकरण और कुछ आयन प्रत्यारोपण शामिल हैं। ऐसे क्षेत्र जहां चीन के पास कम, न्यूनतम या बिल्कुल क्षमता नहीं है, इसका कारण वे बाधाएं हैं जिनमें विशेष रूप से संयुक्त राज्य अमेरिका और उसके सहयोगियों द्वारा उत्पादित उन्नत चिप उत्पादन हेतु आवश्यक वस्तुएं शामिल हैं।

तालिका 2: वेफर विनिर्माण क्षमता, फैब स्थान और चिप प्रकार के अनुसार, 2020



स्रोत: सीआरएस, एसईएमआई, वर्ल्ड फैब पूर्वानुमान से लिया गया, नवंबर 2020 (2)

प्रौद्योगिकी की उन्नति

सेमीकंडक्टर उद्योग में दशकों से प्रौद्योगिकी प्रगति देखी गई है। इसमें एक प्रगति चिप पर मुद्रित प्रमुख इलेक्ट्रॉनिक विशेषताओं के आयामों को लगातार कम करना है, जिसे मूरे का नियम कहा जाता है। लेकिन किसी चिप की भौतिक विशेषताओं को कम करने की मूलभूत सीमाएँ हैं। 7 एनएम चिप बनाने की लागत 45 एनएम चिप की तुलना में चार गुना अधिक है, और अधिक उन्नत नोड्स (जैसे, 5 एनएम व 3 एनएम) पर लागत बहुत अधिक हो सकता है। इसके अलावा, लगातार सिकुड़ते ट्रांजिस्टर ने अस्थिर बिजली की खपत को जन्म दिया, परिणामस्वरूप, कंप्यूटिंग प्रदर्शन में सुधार करने हेतु सेमीकंडक्टर उद्योग ने आयामी स्केलिंग से आगे की रणनीतियों में निवेश करना शुरू कर दिया, जिसमें मल्टीकोर प्रोसेसर, विशेष रूप से डिज़ाइन किए गए चिप्स (जेनेरिक के विपरीत, ऑफ-द-शेल्फ चिप्स), नई सामग्री और आर्किटेक्चर, और उन्नत पैकेजिंग तकनीक शामिल हैं।

उन्नत पैकेजिंग में चिप-टू-चिप संचार को बेहतर बनाने एवं छोटे डिवाइस फ़ुटप्रिंट में अधिक विविध कार्यक्षमताओं को एकीकृत करने की बढ़ती मांग को पूरा करने हेतु कई अलग-अलग नई तकनीकें शामिल हैं। उन्नत पैकेजिंग रणनीतियों में एंड डिवाइस में स्थानिक फुटप्रिंट को कम करते हुए इंटरकनेक्शन के बीच न्यूनतम दूरी हासिल करने हेतु चिप्स को "पुल" के साथ एक-दूसरे के करीब रखना या उन्हें एक-दूसरे के ऊपर रखना शामिल है। 2020 में पैकेजिंग बाजार में उन्नत पैकेजिंग की हिस्सेदारी 40% थी और 2030 तक इसके 60% तक बढ़ने की उम्मीद है। इंटेल और एमकोर के नेतृत्व में संयुक्त राज्य अमेरिका ने 2020 में वैश्विक उन्नत पैकेजिंग उत्पादन क्षमता का लगभग एक चौथाई हिस्सा कर लिया। ताइवान उन्नत पैकेजिंग क्षमता में अग्रणी है, मुख्यतः एएसई ग्रुप, टीएसएमसी, चिपबॉन्ड और चिपएमओएस कंपनियों की क्षमता के कारण।

वर्तमान अमेरिकी निर्यात नियंत्रणों पर काम करने और क्षमता अंतरालों को दूर करने के तरीके के रूप में चीन के सेमीकंडक्टर उद्योग की चिपलेट्स में दिलचस्पी बढ़ गई है।

नैनोटेक्नोलॉजी में छोटे एवं अधिक कुशल सेमीकंडक्टर उपकरण बनाकर, इलेक्ट्रॉनिक्स को छोटा, तेज एवं अधिक ऊर्जा-कुशल बनाकर सेमीकंडक्टर उद्योग में क्रांति लाने की क्षमता है।

सेमीकंडक्टर नवोन्मेष को बढ़ावा देने हेतु एक अन्य उपकरण "चिपलेट" का उपयोग है। ये सिलिकॉन के एक टुकड़े पर कंप्यूटिंग सिस्टम के कई घटकों को एकीकृत करते हैं, जिन्हें अक्सर चिप पर सिस्टम (एसओसी) के रूप में जाना जाता है। चिपलेट निर्माण प्रक्रिया विशिष्ट चिपलेट्स को विभिन्न विक्रेताओं से खरीदने एवं उन्नत कार्यक्षमता वाले उपकरण प्रदान करने हेतु एक साथ पैक करने की सुविधा देती है। बाजार में मिक्स-एंड-मैच की क्षमता में सुधार करने और "ओपन चिपलेट इकोसिस्टम" को सक्षम करने के लिए चिपलेट डिजाइन को मानकीकृत करने हेतु पूरे उद्योग में प्रयास चल रहा है। चिपलेट इकोसिस्टम को बढ़ावा देने से कम लागत पर नवोन्मेष को बढ़ावा मिल सकता है। वर्तमान अमेरिकी निर्यात नियंत्रणों पर काम करने और क्षमता अंतरालों को दूर करने के तरीके के रूप में चीन के सेमीकंडक्टर उद्योग की चिपलेट्स में दिलचस्पी बढ़ गई है।

नैनोटेक्नोलॉजी और सेमीकंडक्टर

परमाणु एवं आणविक पैमाने पर पदार्थ के परिचालन को नैनोटेक्नोलॉजी कहा जाता है। इसमें सेमीकंडक्टर उद्योग सहित कई उद्योगों में क्रांति लाने की क्षमता है। सेमीकंडक्टर उपकरण छोटे ट्रांजिस्टर से बने होते हैं, जिनमें स्विच होते हैं जो बिजली के प्रवाह को नियंत्रित करते हैं। ट्रांजिस्टर जितना छोटा होगा, अर्धचालक उपकरण उतना ही अधिक शक्तिशाली एवं कुशल हो सकता है। नैनोटेक्नोलॉजी का उपयोग ऐसे ट्रांजिस्टर बनाने के लिए किया जा सकता है जो केवल कुछ नैनोमीटर व्यास वाले नैनोवायरों का उपयोग करके पारंपरिक ट्रांजिस्टर की तुलना में बहुत छोटे होते हैं। इन्हें सिलिकॉन, जर्मेनियम और कार्बन नैनोट्यूब सहित विभिन्न सामग्रियों से बनाया जा सकता है। नैनोवायर का उपयोग ट्रांजिस्टर बनाने हेतु किया जा सकता है जो पारंपरिक ट्रांजिस्टर की तुलना में बहुत छोटे और तीव्र होते हैं।

छोटे ट्रांजिस्टर बनाने के लिए नैनोटेक्नोलॉजी का उपयोग करने का दूसरा तरीका क्वांटम डॉट्स का इस्तेमाल करना है। क्वांटम डॉट्स छोटे अर्धचालक होते हैं जिनका व्यास केवल कुछ नैनोमीटर होता है। उनमें विशिष्ट इलेक्ट्रॉनिक गुण होते हैं जिससे वो ट्रांजिस्टर में उपयोग के लिए उपयुक्त हैं।

क्वांटम डॉट्स का उपयोग ऐसे ट्रांजिस्टर बनाने के लिए किया जा सकता है जो पारंपरिक ट्रांजिस्टर की तुलना में बहुत छोटे एवं अधिक ऊर्जा-कुशल हैं। नैनोटेक्नोलॉजी में छोटे और अधिक कुशल सेमीकंडक्टर उपकरण बनाकर, इलेक्ट्रॉनिक्स को छोटा, तेज एवं अधिक ऊर्जा-कुशल बनाकर सेमीकंडक्टर उद्योग में क्रांति लाने की क्षमता है।

नए सेमीकंडक्टर

टोपोलॉजिकल सेमीकंडक्टर विशिष्ट इलेक्ट्रॉनिक विशेषताओं वाली नई सेमीकंडक्टर सामग्रियों का एक वर्ग है। टोपोलॉजिकल सतह अवस्था की उपस्थिति उनकी विशेषता है, जो इलेक्ट्रॉन अवस्थिति हैं जो सामग्री की बैंड संरचना की टोपोलॉजी द्वारा संरक्षित हैं। इससे टोपोलॉजिकल सेमीकंडक्टर्स स्पिंट्रोनिक्स, क्वांटम कंप्यूटिंग और टोपोलॉजिकल लेजर सहित विभिन्न इस्तेमाल के लिए काफी उपयुक्त हो जाता है। टोपोलॉजिकल सेमीकंडक्टर्स के कुछ उदाहरणों में बिस्मथ सेलेनाइड (Bi2Se3), बिस्मथ टेलुराइड (Bi2Te3), और एंटीमनी सेलेनाइड (Sb2Se3) शामिल हैं। ये सामग्रियां आम तौर पर III-V मिश्रित अर्धचालक हैं। टोपोलॉजिकल सेमीकंडक्टर्स में विभिन्न प्रकार के उद्योगों में क्रांति लाने की क्षमता है। टोपोलॉजिकल सेमीकंडक्टर के अलावा, कई अन्य नई सेमीकंडक्टर सामग्रियां हैं जिन्हें विभिन्न इस्तेमाल के लिए विकसित किया जा रहा है। इन सामग्रियों में शामिल हैं - वाइड बैंडगैप अर्धचालक, द्वि-आयामी अर्धचालक, और कार्बनिक अर्धचालक। ग्राफीन और बोरोन नाइट्राइड विशिष्ट गुणों वाले दो-आयामी (2डी) पदार्थ हैं जो उन्हें ट्रांजिस्टर, सौर सेल, नैनोसेंसर और नैनोमैकेनिकल उपकरणों जैसे नए अर्धचालक उपकरणों के विकास हेतु आशाजनक बनाते हैं। कई नई अर्धचालक सामग्रियां विकसित की जा रही हैं जिनमें इलेक्ट्रॉनिक्स, ऊर्जा और स्वास्थ्य देखभाल सहित कई उद्योगों में क्रांति लाने की क्षमता है। प्रौद्योगिकी में प्रगति से विनिर्माण सहित सेमीकंडक्टर उद्योग में बड़े बदलाव हो सकते हैं, और इससे कम खर्च में सेमीकंडक्टर उत्पादों की अधिक विविध श्रृंखला बनाई जा सकती है।

नवीकरणीय ऊर्जा एवं अर्धचालक

नवीकरणीय ऊर्जा प्रौद्योगिकियों के विकास हेतु अर्धचालक आवश्यक हैं। इनका उपयोग सौर पैनलों, पवन टर्बाइनों और बैटरियों सहित कई नवीकरणीय ऊर्जा उपकरणों में किया जाता है। सौर पैनल में भी सूर्य के प्रकाश को बिजली में परिवर्तित करने हेतु अर्धचालक का उपयोग होता है। सौर पैनलों में उपयोग किया जाने वाला सबसे आम अर्धचालक पदार्थ सिलिकॉन है। सिलिकॉन एक अपेक्षाकृत सस्ती और प्रचुर मात्रा में उपलब्ध सामग्री है। यह सूर्य के प्रकाश को बिजली में परिवर्तित करने में भी बहुत कुशल है। पवन टर्बाइनों में भी हवा से बिजली उत्पन्न करने के लिए अर्धचालक का उपयोग होता हैं। पवन टर्बाइनों में उपयोग किया जाने वाला सबसे आम अर्धचालक पदार्थ सिलिकॉन कार्बाइड है।

भारतीय सेमीकंडक्टर बाजार के 2022 में 15 बिलियन डॉलर से बढ़कर 2026 तक 30 बिलियन डॉलर होने की उम्मीद है। यह वृद्धि इलेक्ट्रॉनिक्स, ऑटोमोटिव एवं औद्योगिक अनुप्रयोगों में सेमीकंडक्टर की बढ़ती मांग से प्रेरित है।

सिलिकॉन कार्बाइड एक बहुत ही टिकाऊ सामग्री है जो पवन टर्बाइनों की कठोर परिस्थितियों का सामना कर सकती है। स्मार्ट ग्रिड प्रौद्योगिकियों के विकास हेतु भी सेमीकंडक्टर आवश्यक हैं।

दुर्लभ भू-सामग्री और अर्धचालक

दुर्लभ भू-सामग्री 17 तत्वों का एक समूह है जिनके रासायनिक गुण समान होते हैं। ये प्रकृति में काफी दुर्लभ हैं, लेकिन उनका उपयोग लेजर, मैग्नेट व बैटरी सहित कई इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में किया जाता है। अर्धचालकों के निर्माण में भी दुर्लभ भू सामग्रियों का उपयोग किया जाता है। उदाहरण के लिए, सेरियम का उपयोग सिलिकॉन वेफर्स को पॉलिश करने के लिए किया जाता है, जो अर्धचालकों के मूल निर्माण खंड हैं। हार्ड डिस्क ड्राइव के लिए मैग्नेट बनाने हेतु नियोडिमियम और डिस्प्रोसियम का उपयोग किया जाता है। गैलियम जैसी दुर्लभ भू सामग्री डोपिंग या अर्धचालक सामग्री बनाने के लिए महत्वपूर्ण हैं। दुर्लभ भू सामग्री के लिए आपूर्ति श्रृंखला में व्यवधान होने पर अर्धचालक उद्योग भी बाधित हो सकता है।

भारत का सेमीकंडक्टर क्षेत्र में विकास

भारत का सेमीकंडक्टर उद्योग विकास के शुरुआती चरण में है, लेकिन यह तेजी से बढ़ रहा है। सरकार ने इस क्षेत्र में निवेश किया है, और कई निजी कंपनियां भी अपना परिचालन बढ़ा रही हैं। भारतीय सेमीकंडक्टर बाजार के 2022 में 15 बिलियन डॉलर से बढ़कर 2026 तक 30 बिलियन डॉलर होने की उम्मीद है। यह वृद्धि इलेक्ट्रॉनिक्स, ऑटोमोटिव एवं औद्योगिक अनुप्रयोगों में सेमीकंडक्टर की बढ़ती मांग से प्रेरित है। भारत सरकार ने सेमीकंडक्टर उद्योग के विकास को बढ़ावा देने के लिए कई पहल शुरू की हैं। इनमें सेमीकंडक्टर मिशन, राष्ट्रीय इलेक्ट्रॉनिक्स नीति और प्रोडक्शन लिंक्ड इंसेंटिव (पीएलआई) स्कीम फॉर सेमीकंडक्टर शामिल हैं।

भारत सरकार ने सेमीकंडक्टर उद्योग के विकास को बढ़ावा देने हेतु कई पहल शुरू की हैं। इनमें सेमीकंडक्टर मिशन, राष्ट्रीय इलेक्ट्रॉनिक्स नीति और सेमीकंडक्टर के लिए प्रोडक्शन लिंक्ड इंसेंटिव (पीएलआई) योजना शामिल हैं।

सेमीकंडक्टर मिशन भारत में सेमीकंडक्टर उद्योग के विकास का समर्थन करने हेतु सरकार द्वारा वित्त पोषित पहल (3) है। मिशन सेमीकंडक्टर कंपनियों को वित्तीय सहायता और अन्य सहायता प्रदान करता है।

इसे दिसंबर 2021 में ₹76,000 करोड़ ($9.5 बिलियन) के कुल वित्तीय परिव्यय के साथ लॉन्च किया गया था। सेमीकंडक्टर मिशन का नेतृत्व सेमीकंडक्टर एवं डिस्प्ले उद्योग में वैश्विक विशेषज्ञों की एक टीम द्वारा किया जाता है, और यह सरकारी मंत्रालयों विभाग/एजेंसियाँ, उद्योग और विद्वानों के परामर्श से सेमीकंडक्टर एवं डिस्प्ले इकोसिस्टम के विकास कार्यक्रम के कुशल, सुसंगत और सुचारू कार्यान्वयन हेतु नोडल एजेंसी का कार्य करता है।

सेमीकंडक्टर मिशन के दो मुख्य उद्देश्य हैं: (क) भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण, पैकेजिंग एवं डिजाइन में निवेश को आकर्षित करना और सुविधाजनक बनाना। और (ख) भारत में एक मजबूत सेमीकंडक्टर इकोसिस्टम विकसित करना, जिसमें सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण एवं परीक्षण क्षमताएं शामिल हैं। सेमीकंडक्टर मिशन भारत में निवेश करने वाली सेमीकंडक्टर कंपनियों को विभिन्न प्रकार के वित्तीय और गैर-वित्तीय प्रोत्साहन प्रदान करता है। इन प्रोत्साहनों में शामिल हैं: (1) भारत में सेमीकंडक्टर फैब स्थापित करने के लिए परियोजना लागत का 50% तक वित्तीय सहायता; (2) भारत में डिस्प्ले फैब स्थापित करने हेतु परियोजना लागत का 50% तक वित्तीय सहायता; (3) भारत में सेमीकंडक्टर डिजाइन और परीक्षण क्षमताओं के विकास के लिए वित्तीय सहायता; (4) भारत में निवेश करने वाली सेमीकंडक्टर कंपनियों के लिए सरकारी अनुबंधों हेतु अधिमानी बाज़ार पहुंच; (5) भारत में कुशल जनशक्ति और अनुसंधान एवं विकास बुनियादी ढांचे तक पहुंच। सेमीकंडक्टर मिशन ने पहले से ही वैश्विक सेमीकंडक्टर कंपनियों से महत्वपूर्ण रुचि पैदा की है। वेदांता, टाटा समूह और रिलायंस इंडस्ट्रीज सहित कई कंपनियों ने भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण में निवेश करने की योजना की घोषणा की है। इस मिशन से अगले पांच वर्षों में सेमीकंडक्टर क्षेत्र में 10 बिलियन डॉलर का निवेश आने की

उम्मीद है। यह सेमीकंडक्टर उद्योग के लिए कुशल कार्यबल विकसित करने का भी काम कर रहे हैं।

राष्ट्रीय इलेक्ट्रॉनिक्स नीति (एनपीई) एक सरकारी नीति है जिसका उद्देश्य भारत में इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग को बढ़ावा देना (4) है। इसे पहली बार 2012 में अधिसूचित किया गया था और 2019 में संशोधित किया गया था। एनपीई 2019 का लक्ष्य 2025 तक भारत को इलेक्ट्रॉनिक्स विनिर्माण और डिजाइन का वैश्विक केंद्र बनाना है। यह मुख्य घटकों से लेकर निर्मित उत्पादों तक संपूर्ण इलेक्ट्रॉनिक्स मूल्य श्रृंखला विकसित करने पर केंद्रित है। इस नीति का उद्देश्य भारत से इलेक्ट्रॉनिक्स उत्पादों के निर्यात को बढ़ाना भी है।
एनपीई 2019 इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग को कई प्रोत्साहन प्रदान करती है, जिनमें शामिल हैं:

(1) नई इलेक्ट्रॉनिक्स विनिर्माण इकाइयों की स्थापना एवं मौजूदा इकाइयों के विस्तार हेतु वित्तीय सहायता (2) कर छूट और सब्सिडी, (3) घरेलू स्तर पर निर्मित इलेक्ट्रॉनिक्स उत्पादों के लिए अधिमान्य बाजार पहुंच, (4) इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्र में अनुसंधान और विकास का समर्थन, और (5) इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग के लिए कुशल जनशक्ति का विकास।

एनपीई 2019 का भारत में इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग के विकास पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा है। विगतपांच वर्षों में इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्र 15% से अधिक की सीएजीआर से बढ़ा है। भारत अब इलेक्ट्रॉनिक्स उत्पादों का दुनिया का पांचवां सबसे बड़ा उत्पादक है। एनपीई 2019 भारत को इलेक्ट्रॉनिक्स विनिर्माण और डिजाइन का वैश्विक केंद्र बनाने के भारत सरकार के प्रयासों में महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहा है। उम्मीद है कि इस नीति से भारत को 2025 तक 400 बिलियन डॉलर के इलेक्ट्रॉनिक्स उद्योग के लक्ष्य को हासिल करने में मदद मिलेगी।

सेमीकंडक्टर के लिए पीएलआई योजना एक सरकारी योजना है जिसके अंतर्गत उन सेमीकंडक्टर कंपनियों को वित्तीय प्रोत्साहन प्रदान किया जाता है जो सेमीकंडक्टर फैब, डिस्प्ले फैब, कंपाउंड सेमीकंडक्टर / सिलिकॉन फोटोनिक्स / सेंसर (एमईएमएस सहित) / अलग सेमीकंडक्टर फैब,

सेमीकंडक्टर पैकेजिंग (एटीएमपी / ओएसएटी) और सेमीकंडक्टर डिज़ाइन (5) स्थापित करने हेतु भारत में निवेश करती हैं। प्रोत्साहन अर्धचालक उत्पादों के उत्पादन एवं बिक्री से जुड़े हुए हैं। यह योजना दिसंबर 2021 में सेमीकंडक्टर मिशन के हिस्से के रूप में 76,000 करोड़ रुपये (लगभग US$10 बिलियन) के कुल वित्तीय परिव्यय के साथ शुरू की गई थी। इस योजना का उद्देश्य भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण, पैकेजिंग एवं डिजाइन इकोसिस्टम में निवेश आकर्षित करना है।

पीएलआई योजना के तहत, सेमीकंडक्टर कंपनियां भारत में सेमीकंडक्टर फैब और डिस्प्ले फैब स्थापित करने हेतु परियोजना लागत का 50% तक प्रोत्साहन प्राप्त कर सकती हैं। कंपनियां भारत में सेमीकंडक्टर डिजाइन और पैकेजिंग इकाइयां स्थापित करने के लिए कुल व्यय का 40% तक प्रोत्साहन भी प्राप्त कर सकती हैं।

उम्मीद है कि पीएलआई योजना भारत को सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण एवं प्रौद्योगिकी विकास का वैश्विक केंद्र बनाने के भारत सरकार के प्रयासों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी।

उम्मीद है कि पीएलआई योजना भारत को सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण एवं प्रौद्योगिकी विकास का वैश्विक केंद्र बनाने के भारत सरकार के प्रयासों में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी। इस योजना से भारत को अर्धचालकों के आयात पर निर्भरता कम करने और अपने इलेक्ट्रॉनिक्स विनिर्माण क्षेत्र को बढ़ावा देने में मदद मिलने की भी उम्मीद है।

सेमीकंडक्टर हेतु पीएलआई योजना को लेकर वैश्विक और भारतीय सेमीकंडक्टर कंपनियों ने काफी रुचि दिखाई है। उदाहरण के लिए, वेदांता-फॉक्सकॉन ने घोषणा की है कि वह गुजरात में सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र में 20 बिलियन डॉलर (6) का निवेश करेगी। टाटा समूह ने यह भी घोषणा की है कि वह तमिलनाडु में सेमीकंडक्टर फैब में 3 बिलियन डॉलर का निवेश (7) करेगा। रिलायंस इंडस्ट्रीज महाराष्ट्र में सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र में 10 बिलियन डॉलर का निवेश करने की योजना बना रही है। माइक्रोन टेक्नोलॉजी सबस्ट्रेट्स (8) में विशेषज्ञता रखने वाली यूएस-आधारित चिप निर्माता सिम्मटेक के साथ गुजरात के साणंद में 1.4 मिलियन वर्ग फीट में फैले एटीएमपी (असेंबली, टेस्ट और पैकेजिंग) प्लांट की स्थापना करेगी। राजस्थान स्थित सहस्र सेमीकंडक्टर अपने भिवाड़ी संयंत्र में पहले भारत-निर्मित मेमोरी चिप्स का व्यावसायिक उत्पादन शुरू करेगा। अमेरिका की प्रमुख सेमीकंडक्टर चिप डिजाइन कंपनी एडवांस्ड माइक्रो डिवाइसेज (एएमडी) की अगले पांच वर्षों में भारत में 400 मिलियन अमेरिकी डॉलर तक निवेश करने और बेंगलुरु में अपनी सबसे बड़ी डिजाइन सुविधा स्थापित करने की योजना है।

सेमीकंडक्टर और भारतीय कूटनीति

अर्धचालक आधुनिक दुनिया के लिए बहुत आवश्यक हैं, और भविष्य में उनका महत्व बढ़ने वाला है। इनका उपयोग स्मार्टफोन और कंप्यूटर से लेकर कारों तथा चिकित्सा उपकरणों तक कई उत्पादों में किया जाता है। भारत सेमीकंडक्टर का एक प्रमुख आयातक है, और यह अपने सेमीकंडक्टर उद्योग को विकसित करना चाहता है। इसका कारण सिर्फ आर्थिक कारण नहीं, बल्कि रणनीतिक भी है। सेमीकंडक्टर राष्ट्रीय सुरक्षा के लिए आवश्यक हैं और भारत सेमीकंडक्टर की आपूर्ति के लिए अन्य देशों पर निर्भर नहीं रहना चाहता।

अपने सेमीकंडक्टर उद्योग को बढ़ावा देने हेतु भारत की कूटनीति सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास पर सहयोग करने के लिए प्रमुख देशों के साथ समझौतों पर केंद्रित है। भारत अपने सेमीकंडक्टर उद्योग में विदेशी निवेश को आकर्षित करने की दिशा में भी काम कर रहा है।

अपने सेमीकंडक्टर उद्योग को बढ़ावा देने हेतु भारत की कूटनीति सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास पर सहयोग करने के लिए प्रमुख देशों के साथ समझौतों पर केंद्रित है। भारत अपने सेमीकंडक्टर उद्योग में विदेशी निवेश को आकर्षित करने की दिशा में भी काम कर रहा है। कुछ पहलें इस पर हैं - (1) चतुर्भुज सुरक्षा संवाद (क्वाड), सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास पर सहयोग और सेमीकंडक्टर के लिए अधिक सुरक्षित आपूर्ति श्रृंखला। (2) सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास पर सहयोग करने और नई सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकियों को विकसित करने और इसकी विनिर्माण क्षमताओं में सुधार करने हेतु संयुक्त राज्य अमेरिका, जापान और दक्षिण कोरिया सहित देशों और ताइवान के साथ द्विपक्षीय समझौते।

चतुर्भुज सुरक्षा संवाद (क्वाड), जिसे क्वाड भी कहा जाता है, ऑस्ट्रेलिया, भारत, जापान और संयुक्त राज्य अमेरिका के बीच रणनीतिक सुरक्षा वार्ता है। इसकी स्थापना 2007 में हुई थी और 2017 में इसे नया रुप दिया गया। सुरक्षा, व्यापार एवं प्रौद्योगिकी सहित कई मुद्दों पर सहयोग के मंच के रूप में क्वाड हाल के वर्षों में काफी महत्वपूर्ण हो गया है। क्वाड सेमीकंडक्टर अनुसंधान एवं विकास पर सहयोग पर विचार कर सकता है और अपने महत्वपूर्ण एवं उभरते प्रौद्योगिकी कार्यक्रमों (9) के तहत सेमीकंडक्टर सहयोग पहल को विकसित करने की अच्छी स्थिति में हो सकता है। मई 2022 में, क्वाड नेताओं ने क्वाड देशों के बीच सेमीकंडक्टर शोधकर्ताओं और इंजीनियरों के आदान-प्रदान का समर्थन करने हेतु एक नए क्वाड फेलोशिप कार्यक्रम के गठन की घोषणा की। सेमीकंडक्टर विकास में क्वाड सहयोग में नए गैलियम नाइट्राइड सेमीकंडक्टर्स, नए वाइड-बैंडगैप सेमीकंडक्टर्स विकसित करने, नई सेमीकंडक्टर निर्माण प्रक्रियाओं एवं अगली पीढ़ी के लिथोग्राफी टूल्स सहित उपकरणों के विकास हेतु संयुक्त अनुसंधान परियोजनाएं शामिल हैं। क्वाड देशों ने महत्वपूर्ण और उभरती प्रौद्योगिकियों पर एक कार्य समूह की स्थापना की है, जो अर्धचालक सहित कई प्रौद्योगिकियों पर सहयोग को बढ़ावा देने पर केंद्रित है।

भारत और अमेरिका

संयुक्त राज्य अमेरिका के पास सेमीकंडक्टर उद्योग में नवोन्मेष एवं नेतृत्व का एक लंबा इतिहास है। सेमीकंडक्टर का आविष्कार 1950 के दशक में अमेरिका में हुआ था और तब से अमेरिकी कंपनियां सेमीकंडक्टर के क्षेत्र में सबसे आगे रही हैं। अमेरिकी सरकार ने सेमीकंडक्टर उद्योग के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभाई है। उद्योग के शुरुआती दिनों में, अमेरिकी सरकार ने सेमीकंडक्टर अनुसंधान एवं विकास के लिए धन मुहैया कराया। सरकार ने नई अर्धचालक विनिर्माण प्रौद्योगिकियों के विकास का भी समर्थन किया।

विगत कुछ वर्षों में, अमेरिकी सरकार अमेरिकी सेमीकंडक्टर विनिर्माण क्षमता में गिरावट को लेकर चिंतित है। 2020 में, अमेरिका में दुनिया के केवल 12% अर्धचालकों का उत्पादन हुआ, जो 1990 में 37% से कम है। इस गिरावट के कई कारण है, जिसमें अमेरिका में अर्धचालकों के निर्माण की बढ़ती लागत और विदेशी कंपनियों से बढ़ती प्रतिस्पर्धा शामिल है। अमेरिकी सेमीकंडक्टर विनिर्माण क्षमता में गिरावट को दूर करने हेतु अमेरिकी सरकार कई कदम उठा रही है। 2022 में, कांग्रेस ने चिप्स एवं विज्ञान अधिनियम पारित किया, जो सेमीकंडक्टर विनिर्माण और अनुसंधान एवं विकास के लिए $52 बिलियन का वित्तपोषण प्रदान करता है। चिप्स अधिनियम में सेमीकंडक्टर विनिर्माण निवेश के लिए 25% टैक्स क्रेडिट भी शामिल है। सेमीकंडक्टर उद्योग को समर्थन देने के अमेरिकी सरकार के प्रयास महत्वपूर्ण हैं क्योंकि सेमीकंडक्टर स्मार्टफोन और कंप्यूटर से लेकर कारों एवं चिकित्सा उपकरणों तक कई इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में आवश्यक घटक हैं। दूसरा, सेमीकंडक्टर उद्योग आर्थिक विकास का एक प्रमुख चालक है। तीसरा, सेमीकंडक्टर उद्योग अमेरिकी राष्ट्रीय सुरक्षा के लिए महत्वपूर्ण है। बिडेन प्रशासन ने अमेरिकी सेमीकंडक्टर उद्योग को समर्थन देने हेतु कई पहलों की घोषणा की है।

मई 2022 में, क्वाड नेताओं ने क्वाड देशों के बीच सेमीकंडक्टर शोधकर्ताओं एवं इंजीनियरों के आदान-प्रदान का समर्थन करने हेतु एक नए क्वाड फेलोशिप कार्यक्रम के गठन की घोषणा की।

भारत और अमेरिका सेमीकंडक्टर उद्योग में सहयोग बढ़ा रहे हैं। 2021 में, भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका ने सेमीकंडक्टर अनुसंधान, विकास एवं विनिर्माण में दोनों देशों के बीच सहयोग को मजबूत करने और दोनों देशों के बीच सेमीकंडक्टर क्षेत्र में निवेश एवं व्यापार को बढ़ावा देने के लिए सेमीकंडक्टर निगमों पर एक समझौता ज्ञापन (एमओयू) पर हस्ताक्षर किए।

पर भारतीय और अमेरिकी सेमीकंडक्टर कंपनियों के बीच सहयोग को प्रोत्साहित

भारत और अमेरिका सेमीकंडक्टर उद्योग में सहयोग बढ़ा रहे हैं। 2021 में, भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका ने सेमीकंडक्टर अनुसंधान, विकास एवं विनिर्माण में दोनों देशों के बीच सहयोग को मजबूत करने और दोनों देशों के बीच सेमीकंडक्टर क्षेत्र में निवेश एवं व्यापार को बढ़ावा देने के लिए सेमीकंडक्टर निगमों पर एक समझौता ज्ञापन (एमओयू) पर हस्ताक्षर किए। भारत के लिए, यह एमओयू सेमीकंडक्टर उद्योग में निवेश आकर्षित करने और भारत की अपनी सेमीकंडक्टर डिजाइन और विनिर्माण क्षमताओं को विकसित करने में मदद करेगा। संयुक्त राज्य अमेरिका के लिए, यह एमओयू भारत से अर्धचालकों तक पहुंच सुरक्षित करने और अर्धचालक क्षेत्र में भारत के साथ अपने संबंधों को मजबूत करने में मदद करेगा। सहयोग के कुछ विशिष्ट क्षेत्र जो एमओयू में शामिल हैं: (1) अनुसंधान एवं विकास: एमओयू अनुसंधान और विकास परियोजनाओं करता है। (2) विनिर्माण: एमओयू भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण सुविधाओं में निवेश को प्रोत्साहित करता है। (3) व्यापार: एमओयू का उद्देश्य भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका के बीच सेमीकंडक्टर उत्पादों में व्यापार को बढ़ावा देना है। (4) आपूर्ति श्रृंखला: एमओयू का उद्देश्य भारत और संयुक्त राज्य अमेरिका के बीच सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला को सुदृढ़ करना है।

मार्च 2022 में, दोनों देशों ने वाणिज्यिक अवसरों को सुविधाजनक बनाने और सेमीकंडक्टर नवोन्मेष इकोसिस्टम विकसित करने हेतु दोनों देशों की आपसी क्षमता का लाभ उठाने के लिए सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला और नवोन्मेष साझेदारी स्थापित करने के लिए एक समझौता ज्ञापन (एमओयू) पर हस्ताक्षर किए। 2022 में अमेरिकी वाणिज्य विभाग ने घोषणा की कि वह भारत के सेमीकंडक्टर मिशन को तकनीकी सहायता प्रदान करेगा।

अमेरिकी सरकार अमेरिकी सेमीकंडक्टर कंपनियों को भारत में निवेश के लिए प्रोत्साहित करने हेतु भी काम कर रही है। सेमीकंडक्टर उद्योग में भारत-अमेरिका सहयोग के विशिष्ट उदाहरणों में शामिल हैं (1) 2022 में, इंटेल ने घोषणा की कि वह भारत में एक नए अनुसंधान एवं विकास केंद्र में 5 बिलियन डॉलर का निवेश करेगा; (2) 2023 में, अमेरिकी सेमीकंडक्टर कंपनी माइक्रोन ने घोषणा की कि वह भारत में एक नए विनिर्माण संयंत्र में 3 बिलियन डॉलर का निवेश करेगी; (3) यूएस-इंडिया सेमीकंडक्टर रिसर्च इनिशिएटिव (यूएसआईएसआरआई) सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास को बढ़ावा देने के लिए अमेरिका और भारतीय सरकारों के बीच एक संयुक्त पहल है।

2022 में अमेरिकी वाणिज्य विभाग ने घोषणा की कि वह भारत के सेमीकंडक्टर मिशन को तकनीकी सहायता प्रदान करेगा।

सेमीकंडक्टर उद्योग में भारत तथा अमेरिका के बीच बढ़ते सहयोग में दोनों देशों में आर्थिक विकास और तकनीकी नवाचार का एक प्रमुख चालक बनने की क्षमता है।

भारत और जापान

जापान एक समय दुनिया का सबसे बड़ा सेमीकंडक्टर उत्पादक था, जिसका 1980 के दशक के अंत तक वैश्विक उत्पादन में 50% से अधिक की हिस्सेदारी थी, लेकिन 2023 में बाजार में इसकी हिस्सेदारी घटकर लगभग 9% रह गई है। जापानी सरकार देश के सेमीकंडक्टर उद्योग को पुनर्जीवित करने हेतु प्रतिबद्ध है। 2021 में, सरकार ने अगले पांच वर्षों में सेमीकंडक्टर उद्योग में ¥1 ट्रिलियन ($7 बिलियन) से अधिक निवेश करने की योजना की घोषणा की। इस निवेश का उपयोग नई सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकियों के विकास का समर्थन करने और नए सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्रों के निर्माण हेतु किया जाएगा। इसके अलावा जापानी सेमीकंडक्टर कंपनियां अपनी प्रतिस्पर्धात्मकता को बढ़ावा देने हेतु विदेशी कंपनियों के साथ भी साझेदारी कर रही हैं। 2021 में,

दुनिया की सबसे बड़ी सेमीकंडक्टर फाउंड्री टीएसएमसी ने घोषणा की कि वह सोनी और डेंसो के साथ साझेदारी में जापान में एक नया सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र बनाएगी। जापानी सरकार की पहलों में शामिल हैं (1) 2021 में अग्रणी सेमीकंडक्टर टेक्नोलॉजी सेंटर (एलएसटीसी) की स्थापना। एलएसटीसी अगली पीढ़ी के सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकियों पर काम करने वाले वैज्ञानिकों के लिए एक RhD केंद्र है (2) जापान में नए सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र बनाने वाली कंपनियों को सब्सिडी प्रदान करना।

भारत और जापान ने 2022 में सेमीकंडक्टर सहयोग पर एक समझौते

पर हस्ताक्षर किए, जिसमें : सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण, उपकरण अनुसंधान, प्रतिभा विकास, सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला का सुदृढ़ीकरण जैसे कई क्षेत्र शामिल हैं। समझौते के कार्यान्वयन की निगरानी के लिए समझौते के तहत एक संयुक्त कार्यान्वयन समिति भी स्थापित की गई है।

भारत और जापान ने 2022 में सेमीकंडक्टर सहयोग पर एक समझौते पर हस्ताक्षर किए, जिसमें : सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण, उपकरण अनुसंधान, प्रतिभा विकास, सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला का सुदृढ़ीकरण जैसे कई क्षेत्र शामिल हैं।

भारत और दक्षिण कोरिया

दक्षिण कोरिया में सेमीकंडक्टर उद्योग का विकास 1960 के दशक की शुरुआत से ही पाया जाता है। 1980 के दशक में यह उद्योग आगे बढ़ना शुरू हुआ, जिसमें दक्षिण कोरियाई सरकार ने महत्वपूर्ण भूमिका निभाई, सेमीकंडक्टर कंपनियों को वित्तीय सहायता एवं कर में छूट प्रदान की, और अनुसंधान एवं विकास में भी निवेश किया। सरकार ने सैमसंग इलेक्ट्रॉनिक्स और एसके हाइनिक्स जैसे बड़े समूह या चैबोल्स के गठन को भी प्रोत्साहित किया, जो सेमीकंडक्टर उद्योग में भारी निवेश करने में सक्षम थे और मेमोरी चिप्स के उत्पादन में जल्द ही विश्व में अग्रणी बन गए। एशियाई वित्तीय संकट और अन्य एशियाई देशों से बढ़ती प्रतिस्पर्धा सहित चुनौतियों के बावजूद, इस उद्योग का विकास जारी है। आज, ताइवान के बाद दक्षिण कोरिया दुनिया का दूसरा सबसे बड़ा अर्धचालक उत्पादक है। यह मेमोरी चिप्स का विश्व का अग्रणी उत्पादक भी है। सैमसंग इलेक्ट्रॉनिक्स और एसके हाइनिक्स जैसी दक्षिण कोरियाई सेमीकंडक्टर कंपनियां सेमीकंडक्टर उद्योग में तकनीकी नवाचार में सबसे आगे हैं। दक्षिण कोरियाई सेमीकंडक्टर उद्योग देश के निर्यात और सकल घरेलू उत्पाद में महत्वपूर्ण हिस्सेदारी रखता है। दक्षिण कोरियाई सरकार सेमीकंडक्टर उद्योग को समर्थन देना जारी रखे हुए है।

2019 में, सरकार ने अगले दशक में सेमीकंडक्टर उद्योग में केआरडब्ल्यू 50 ट्रिलियन (42 बिलियन अमेरिकी डॉलर) निवेश करने की योजना की घोषणा की। इस निवेश का उद्देश्य दक्षिण कोरिया को वैश्विक सेमीकंडक्टर उद्योग में अपनी अग्रणी स्थिति बनाए रखने में मदद करना है। दक्षिण कोरिया में सेमीकंडक्टर उद्योग का विकास सरकार और उद्योग साझेदारी के कारण एक बड़ी सफलता है।

आज, ताइवान के बाद दक्षिण कोरिया दुनिया का दूसरा सबसे बड़ा अर्धचालक उत्पादक है। यह मेमोरी चिप्स का विश्व का अग्रणी उत्पादक भी है। सैमसंग इलेक्ट्रॉनिक्स और एसके हाइनिक्स जैसी दक्षिण कोरियाई सेमीकंडक्टर कंपनियां सेमीकंडक्टर उद्योग में तकनीकी नवाचार में सबसे आगे हैं।

भारत और दक्षिण कोरिया ने 2023 में सेमीकंडक्टर सहयोग पर एक समझौते पर हस्ताक्षर किए, जिसमें सेमीकंडक्टर डिजाइन, विनिर्माण, उपकरण अनुसंधान, प्रतिभा विकास, सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला को मजबूत करने सहित कई क्षेत्र शामिल हैं। इस समझौते के अंतर्गत समझौते के कार्यान्वयन की देखरेख के लिए एक संयुक्त कार्य समूह भी स्थापित किया गया है। यह पहली बार है कि दक्षिण कोरिया ने संयुक्त राज्य अमेरिका के अलावा किसी अन्य देश के साथ सेमीकंडक्टर सहयोग समझौते पर हस्ताक्षर किए हैं।

भारत और ताइवान

ताइवान में सेमीकंडक्टर उद्योग का विकास 1970 के दशक की शुरुआत में शुरू हुआ। 1974 में, ताइवानी सरकार ने ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनियों को धन एवं तकनीकी सहायता प्रदान करके ताइवान में उच्च तकनीक उद्योगों के विकास को बढ़ावा देने हेतु औद्योगिक प्रौद्योगिकी अनुसंधान संस्थान (आईटीआरआई) की स्थापना की। 1976 में, ताइवान सरकार ने एक अमेरिकी सेमीकंडक्टर कंपनी आरसीए को सेमीकंडक्टर तकनीक को ताइवान में स्थानांतरित करने हेतु मना लिया। यह ताइवानी सेमीकंडक्टर उद्योग के लिए एक बड़ी सफलता थी।

आरसीए के प्रौद्योगिकी हस्तांतरण ने ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनियों को अपनी विनिर्माण क्षमताओं को विकसित करने में मदद की। 1987 में, दुनिया की सबसे बड़ी सेमीकंडक्टर फाउंड्री टीएसएमसी की स्थापना ताइवान में की गई थी। टीएसएमसी ने फैबलेस फाउंड्री मॉडल का बीड़ा उठाया है, जो चिप डिजाइन कंपनियों को अपने विनिर्माण को समर्पित फाउंड्रीज को आउटसोर्स करने की सुविधा देता है। इस मॉडल ने सेमीकंडक्टर उद्योग में क्रांति ला दी और ताइवान को सेमीकंडक्टर निर्माण में विश्व स्तर पर अग्रणी बनने में मदद की।

आज, ताइवान दुनिया का सबसे बड़ा अर्धचालक उत्पादक है। ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनियां सेमीकंडक्टर विनिर्माण में वैश्विक बाजार हिस्सेदारी के 50% से अधिक पर नियंत्रण रखती हैं। ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनियाँ सेमीकंडक्टर डिज़ाइन में भी अग्रणी हैं। दुनिया की कुछ सबसे बड़ी सेमीकंडक्टर कंपनियाँ, जैसे टीएसएमसी, मीडियाटेक, और यूआलकॉम का मुख्यालय ताइवान में है। सेमीकंडक्टर उद्योग अब ताइवान का सबसे बड़ा निर्यात उद्योग है और ताइवान के सकल घरेलू उत्पाद का एक बड़ा हिस्सा है। सेमीकंडक्टर उद्योग में ताइवान का प्रभुत्व उसे वैश्विक अर्थव्यवस्था में महत्वपूर्ण लाभ देता है। यह ताइवान को वैश्विक भूराजनीति में अधिक महत्वपूर्ण देश

भी बनाता है। ताइवान में सेमीकंडक्टर उद्योग का विकास सफलता की एक उल्लेखनीय कहानी तथा अन्य देशों के लिए एक उदाहरण की तरह है।

> सेमीकंडक्टर उद्योग में भारत और ताइवान के बीच मजबूत रिश्ते हैं। दोनों देशों ने सेमीकंडक्टर उद्योग में सहयोग को बढ़ावा देने हेतु कई समझौतों पर हस्ताक्षर किए हैं। उन्होंने सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास में सहयोग पर एक समझौता ज्ञापन पर हस्ताक्षर किए।

सेमीकंडक्टर उद्योग में भारत और ताइवान के बीच मजबूत रिश्ते हैं। दोनों देशों ने सेमीकंडक्टर उद्योग में सहयोग को बढ़ावा देने हेतु कई समझौतों पर हस्ताक्षर किए हैं। 2019 में, उन्होंने सेमीकंडक्टर अनुसंधान और विकास में सहयोग पर एक समझौता ज्ञापन पर हस्ताक्षर किए। 2022 में, उन्होंने सेमीकंडक्टर विनिर्माण में सहयोग पर एक समझौता ज्ञापन पर हस्ताक्षर किए। दोनों पक्ष कई विशिष्ट परियोजनाओं पर भी मिलकर काम कर रहे हैं। दुनिया की सबसे बड़ी सेमीकंडक्टर निर्माता ताइवान सेमीकंडक्टर मैन्युफैक्चरिंग कंपनी (टीएसएमसी) भारत में विनिर्माण संयंत्र स्थापित करने पर विचार कर रही है। 2022 में, भारतीय सेमीकंडक्टर मिशन और ताइवान सेमीकंडक्टर इंडस्ट्री एसोसिएशन (टीएसआईए) ने सेमीकंडक्टर उद्योग में सहयोग को बढ़ावा देने के लिए एक समझौता ज्ञापन (एमओयू) पर हस्ताक्षर किए। 2023 में, भारत सरकार और ताइवान सरकार ने सेमीकंडक्टर निर्माण में भारतीय इंजीनियरों को प्रशिक्षित करने हेतु एक संयुक्त कार्यक्रम की घोषणा की।

टीएसएमसी और मीडियाटेक जैसी ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनियां भारत के सेमीकंडक्टर उद्योग में निवेश कर रही हैं। वेदांता और टाटा समूह जैसी भारतीय सेमीकंडक्टर कंपनियाँ, नए सेमीकंडक्टर उत्पाद और तकनीक विकसित करने हेतु ताइवानी कंपनियों के साथ काम कर रही हैं। 2023 में, ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनी फॉक्सकॉन ने घोषणा की कि वह गुजरात राज्य में सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र में 10 बिलियन अमेरिकी डॉलर का निवेश करेगी। 2023 में ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनी मीडियाटेक ने घोषणा की कि वह भारत में सेमीकंडक्टर डिजाइन सेंटर स्थापित करेगी।

2023 में, भारत सरकार और ताइवान सरकार ने सेमीकंडक्टर सामग्री एवं उपकरणों पर एक संयुक्त अनुसंधान कार्यक्रम शुरू किया।

वेदांता और टाटा समूह जैसी भारतीय सेमीकंडक्टर कंपनियाँ, नए सेमीकंडक्टर उत्पाद और तकनीक विकसित करने हेतु ताइवानी कंपनियों के साथ काम कर रही हैं। 2023 में, ताइवानी सेमीकंडक्टर कंपनी फॉक्सकॉन ने घोषणा की कि वह गुजरात राज्य में सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र में 10 बिलियन अमेरिकी डॉलर का निवेश करेगी।

भारत और नीदरलैंड

भारत और नीदरलैंड ने सेमीकंडक्टर अनुसंधान, विकास, विनिर्माण एवं आपूर्ति श्रृंखला प्रबंधन में सहयोग को बढ़ावा देने हेतु 2022 में एक समझौते पर हस्ताक्षर किए। इस समझौते के अंतर्गत समझौते के कार्यान्वयन की निगरानी के लिए एक संयुक्त कार्य समूह भी स्थापित किया गया है। 2023 में, डच सेमीकंडक्टर कंपनी एएसएमएल ने घोषणा की कि वह भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण उपकरण विनिर्माण संयंत्र स्थापित करेगी। 2023 में, डच सेमीकंडक्टर कंपनी एनएक्सपी ने घोषणा की कि वह भारत में अपने सेमीकंडक्टर विनिर्माण संयंत्र का विस्तार करेगी। 2023 में, भारत सरकार और डच सरकार ने सेमीकंडक्टर सामग्री तथा उपकरणों पर एक संयुक्त अनुसंधान कार्यक्रम शुरू किया। नीदरलैंड सेमीकंडक्टर विनिर्माण उपकरण में विश्व में अग्रणी है। डच कंपनी एएसएमएल हाई रिज़ॉल्यूशन वाली लिथोग्राफी मशीनों की दुनिया की एकमात्र निर्माता है, जो उन्नत अर्धचालकों के निर्माण हेतु आवश्यक है। भारत में एएसएमएल का निवेश भारतीय सेमीकंडक्टर उद्योग के लिए एक बड़ी उपलब्धि है, क्योंकि इससे भारतीय सेमीकंडक्टर कंपनियों को नवीनतम सेमीकंडक्टर विनिर्माण उपकरण तक पहुंच मिलेगी।

2023 में, भारत सरकार तथा डच सरकार ने सेमीकंडक्टर सामग्री और उपकरणों पर एक संयुक्त अनुसंधान कार्यक्रम शुरू किया।

विगत कुछ वर्षों में, सेमीकंडक्टर निर्माण की उच्च लागत तथा एशिया से बढ़ती प्रतिस्पर्धा के कारण वैश्विक सेमीकंडक्टर बाजार में यूरोपीय संघ की हिस्सेदारी में कमी आई है।

यूरोपीय संघ

यूरोपीय संघ का सेमीकंडक्टर के निर्माण एवं उत्पादन का एक लंबा इतिहास रहा है। हालाँकि, विगत कुछ वर्षों में, सेमीकंडक्टर निर्माण की उच्च लागत और एशिया से बढ़ती प्रतिस्पर्धा के कारण वैश्विक सेमीकंडक्टर बाजार में यूरोपीय संघ की हिस्सेदारी में की आई है।

इन चुनौतियों से निपटने के लिए, यूरोपीय संघ ने कई पहल शुरू की हैं, जिनमें (1) यूरोपीय चिप्स अधिनियम, एक €43 बिलियन की निवेश योजना है जिसका लक्ष्य 2030 तक सेमीकंडक्टर्स में यूरोपीय संघ की वैश्विक बाजार हिस्सेदारी को दोगुना करना है। (2) सार्वजनिक-निजी भागीदारी यूरोपीय सेमीकंडक्टर एलायंस, जो यूरोप में सेमीकंडक्टर के निर्माण एवं उत्पादन का समर्थन करने हेतु कंपनियों, विश्वविद्यालयों और अनुसंधान संस्थानों को एक साथ लाता है; (3) यूरोपियन इनोवेशन काउंसिल, एक फंडिंग प्रोग्राम जो सेमीकंडक्टर क्षेत्र में स्टार्टअप तथा अन्य नई कंपनियों का समर्थन करता है। यूरोपीय संघ की सेमीकंडक्टर नीतियों का उद्देश्य आयातित अर्धचालकों पर यूरोपीय संघ की निर्भरता को कम करना तथा

यूरोपीय संघ की तकनीकी संप्रभुता को मजबूत करना है। इसके अलावा यूरोपीय संघ सेमीकंडक्टर उद्योग के लिए नियामक माहौल में सुधार करने की दिशा में भी काम कर रहा है, जिसमें अपने बौद्धिक संपदा कानूनों को संशोधित करना भी शामिल है ताकि सेमीकंडक्टर कंपनियों के लिए अपनी बौद्धिक संपदा की रक्षा करना आसान हो सके।

भारत तथा यूरोपीय संघ सेमीकंडक्टर क्षेत्र में सहयोग को बढ़ा रहे हैं। इस सहयोग का उद्देश्य भारत की मजबूत प्रतिभा क्षमता का लाभ उठाना है, खासकर सेमीकंडक्टर डिजाइन सेवाओं में। यूरोपीय संघ में कई प्रमुख सेमीकंडक्टर कंपनियाँ हैं, जैसे एएसएमएल, इन्फिनियन और एनएक्सपी सेमीकंडक्टर।

भारत तथा यूरोपीय संघ सेमीकंडक्टर क्षेत्र में सहयोग को बढ़ा रहे हैं। इस सहयोग का उद्देश्य भारत की मजबूत प्रतिभा क्षमता का लाभ उठाना है, खासकर सेमीकंडक्टर डिजाइन सेवाओं में। यूरोपीय संघ में कई प्रमुख

उभ

भार

सेमीकंडक्टर कंपनियाँ हैं, जैसे एएसएमएल, इन्फिनियन और एनएक्सपी सेमीकंडक्टर।

सेमीकंडक्टर क्षेत्र में भारत तथा यूरोपीय संघ के बीच सहयोग को बढ़ावा देने की पहल में शामिल हैं: (1) 2020 में लॉन्च किया गया व्यापार एवं प्रौद्योगिकी परिषद (टीटीसी), जिसमें सेमीकंडक्टर पर एक कार्य समूह शामिल है; (2) ईयू चिप्स अधिनियम (2021) भारत के साथ संयुक्त अनुसंधान एवं विकास परियोजनाओं के लिए निधि प्रदान करता है; (3) सेमीकंडक्टर क्षेत्र में सहयोग पर एक समझौता ज्ञापन (2023), जो अनुसंधान और विकास, निवेश व व्यापार जैसे क्षेत्रों में सहयोग की रूपरेखा पेश करता है।

सहयोग के विशिष्ट क्षेत्रों में शामिल हैं (1) नई अर्धचालक सामग्री एवं प्रक्रियाओं के विकास पर संयुक्त अनुसंधान और विकास; (2) भारतीय सेमीकंडक्टर कंपनियों में निवेश। उदाहरण के लिए, 2022 में, एनएक्सपी सेमीकंडक्टर्स ने घोषणा की कि वह अपने भारतीय परिचालन में $40 मिलियन का निवेश करेगी; (3) सेमीकंडक्टर में व्यापार बढ़ना। उदाहरण के लिए, 2022 में, यूरोपीय संघ ने घोषणा की कि वह भारत से आयातित अर्धचालकों पर टैरिफ कम करेगा।

भारत तथा यूरोपीय संघ के बीच सहयोग से भारत को अपना सेमीकंडक्टर उद्योग विकसित करने और चीन पर निर्भरता कम करने में मदद मिलेगी। इससे यूरोपीय संघ को अर्धचालकों तक अपनी पहुंच सुरक्षित करने और एशिया से आयात पर निर्भरता कम करने में भी मदद मिलेगी।

प्रौद्योगिकी को लेकर विवाद

वैश्विक सेमीकंडक्टर उद्योग सैकड़ों बिलियन डॉलर का है, और चीन दुनिया में सेमीकंडक्टर का सबसे बड़ा उत्पादक है। संयुक्त राज्य अमेरिका तथा यूरोपीय संघ भी इस उद्योग में अग्रणी हैं। हाल के वर्षों में, अमेरिका, चीन और यूरोपीय संघ के बीच विशेष रूप से सेमीकंडक्टर क्षेत्र में तकनीकी एवं रणनीतिक प्रतिस्पर्धा बढ़ रही है। अमेरिका ने चीन पर उसकी सेमीकंडक्टर तकनीक चुराने का आरोप लगाया है और चीनी सेमीकंडक्टर कंपनियों पर प्रतिबंध लगा दिया है। यूरोपीय संघ ने भी सेमीकंडक्टर उद्योग में चीन के प्रभुत्व को लेकर चिंता व्यक्त की है।

अमेरिका, चीन और यूरोपीय संघ के बीच तकनीक को लेकर संघर्ष के वैश्विक अर्धचालक उद्योग पर कई प्रभाव पड़ सकते हैं। इससे

सेमीकंडक्टर की कीमतें बढ़ने, नई सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकियों के विकास में देरी और वैश्विक सेमीकंडक्टर बाजार में परिचालन में कठिनाइयां आने की संभावना है।

सेमीकंडक्टर उद्योग में व्यवधान से पूरी दुनिया की अर्थव्यवस्था पर नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है। अमेरिका और चीन के बीच तकनीकी संघर्ष के विशिष्ट उदाहरणों में चीनी सेमीकंडक्टर कंपनी जेडटीई (2018) पर प्रतिबंध, हुआवेई के खिलाफ अमेरिक द्वारा व्यापार ब्लैकलिस्ट (2019), और अमेरिकी वाणिज्य विभाग द्वारा चीन को सेमीकंडक्टर प्रौद्योगिकी के निर्यात को प्रतिबंधित करने वाले नए नियम 2020) शामिल हैं।

अमेरिका, चीन और यूरोपीय संघ के बीच तकनीकी टकराव आने वाले वर्षों में भी जारी रहने की संभावना है। इसका सेमीकंडक्टर उद्योग में व्यवधान से पूरी दुनिया की अर्थव्यवस्था पर नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

सरकार ने उद्योग को बढ़ावा देने के लिए

अमेरिका, चीन और यूरोपीय संघ के बीच तकनीकी टकराव आने वाले वर्षों में भी जारी रहने की संभावना है। इसका सेमीकंडक्टर उद्योग में व्यवधान से पूरी दुनिया की अर्थव्यवस्था पर नकारात्मक प्रभाव पड़ सकता है।

भारत की भूमिका और भविष्य की संभावनाएँ

भारत में भविष्य में दुनिया के सेमीकंडक्टर उद्योग में प्रमुख भूमिका निभाने की क्षमता है। भारत दुनिया का सबसे अधिक आबादी वाला देश है, यहाँ एक बड़ा एवं बढ़ता हुआ मध्यम वर्ग है। इससे भारत ऐसे अर्धचालकों के लिए एक बड़ा बाजार बना जाता है, जिनका उपयोग कई इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में किया जाता है। भारत के पास भी कई क्षमताएं हैं जिससे वह अपना स्वयं का सेमीकंडक्टर उद्योग विकसित करने हेतु अच्छी स्थिति में नज़र आता है। भारत में इंजीनियरिंग प्रतिभाओं की कोई कमी नहीं है। भारत की शिक्षा प्रणाली भी मजबूत है, जिससे विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी में बड़ी संख्या में स्नातक तैयार होते हैं।

भारत सरकार सेमीकंडक्टर उद्योग को विकसित करने हेतु भी प्रतिबद्ध है। कई पहल शुरू की हैं, जिनमें सेमीकंडक्टर मिशन, राष्ट्रीय इलेक्ट्रॉनिक्स नीति और सेमीकंडक्टर के लिए पीएलआई योजना शामिल हैं। भारत सरकार सेमीकंडक्टर क्षेत्र में विदेशी निवेश को आकर्षित करने की दिशा में भी काम कर रही है। सरकार ने सेमीकंडक्टर सहयोग पर संयुक्त राज्य अमेरिका, जापान और दक्षिण कोरिया जैसे विदेशी देशों के साथ कई समझौतों पर हस्ताक्षर किए हैं।

दुनिया की कई सेमीकंडक्टर कंपनियां भी भारत में निवेश कर रही हैं। उदाहरण के लिए, फॉक्सकॉन, एएसएमएल एवं एनएक्सपी ने हाल के वर्षों में भारत में निवेश की घोषणा की है। ये कारक बताते हैं कि भारत में भविष्य में वैश्विक सेमीकंडक्टर उद्योग में एक प्रमुख क्षमता बनने की क्षमता है। भारत अर्धचालकों का एक प्रमुख उत्पादक, अर्धचालकों के लिए एक प्रमुख बाजार एवं अर्धचालक अनुसंधान और विकास का एक प्रमुख केंद्र बन सकता है।

कुछ ऐसे क्षेत्र जहां भारत भविष्य में सेमीकंडक्टर उद्योग में अहम भूमिका निभा सकता है, वे हैं (1) सेमीकंडक्टर डिजाइन (2) सेमीकंडक्टर विनिर्माण (3)

सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला। भारत सेमीकंडक्टर आपूर्ति श्रृंखला का एक प्रमुख केंद्र बनने हेतु अच्छी स्थिति में है। भारत में कई कंपनियां हैं जो सेमीकंडक्टर सामग्री, उपकरण एवं सेवाओं में विशेषज्ञ हैं। भारतीय कंपनियां दुनिया भर की कंपनियों को सेमीकंडक्टर और सेमीकंडक्टर-संबंधित उत्पादों और सेवाओं की आपूर्ति करने हेतु अच्छी स्थिति में हैं। भारतीय सेमीकंडक्टर डिजाइन कंपनियां कुशल इंजीनियरों और तकनीशियनों के एक बड़े समूह एवं नई सेमीकंडक्टर डिजाइन टूल और तकनीकों तक पहुंच के साथ अलग-अलग कार्यों में इस्तेमाल किए जाने वाले सेमीकंडक्टर डिजाइन करने की अच्छी स्थिति में हैं।

सेमीकंडक्टर और ग्लोबल साउथ

सेमीकंडक्टर उद्योग एक वैश्विक उद्योग है, लेकिन इसमें संयुक्त राज्य अमेरिका, दक्षिण कोरिया, ताइवान और जापान सहित कुछ विकसित देशों की ही सबसे अधिक हिस्सेदारी है। इन देशों में सेमीकंडक्टर उद्योग को विकसित करने हेतु आवश्यक अवसंरचना, प्रौद्योगिकी एवं कुशल कार्यबल है। ग्लोबल साउथ में कई विकासशील देश स्थित हैं जो अपने स्वयं के अर्धचालक उद्योग विकसित करने की कोशिश कर रहे हैं। ये देश कई कारकों से प्रेरित हैं, जिनमें आयातित अर्धचालकों पर अपनी निर्भरता कम करने, नौकरियां पैदा करने और आर्थिक विकास को बढ़ाने की इच्छा शामिल है। हालाँकि, ऐसी कई चुनौतियाँ हैं जिनका समाधान करने की आवश्यकता है, जैसे कि अवसंरचना में निवेश के माध्यम से बुनियादी ढाँचे, प्रौद्योगिकी एवं कुशल कार्यबल की कमी: सरकारों को बुनियादी ढाँचे, शिक्षा एवं प्रशिक्षण में निवेश करने, वित्तीय प्रोत्साहन प्रदान करने और प्रौद्योगिकी एवं संसाधनों को साझा करने के लिए विकसित देशों की सरकारों और व्यवसायों के साथ साझेदारी करने की आवश्यकता है। भारत ने अपने विकास अनुभव को ग्लोबल साउथ के साथ साझा करने की पेशकश की है और सेमीकंडक्टर क्षेत्र में शिक्षा एवं प्रशिक्षण का समर्थन करने हेतु अच्छी स्थिति में है।

भारत में भविष्य में वैश्विक सेमीकंडक्टर उद्योग में बड़ी भूमिका निभाने की क्षमता है। भारत अर्धचालकों का एक प्रमुख उत्पादक, अर्धचालकों का एक प्रमुख बाजार और सेमीकंडक्टर अनुसंधान एवं विकास का प्रमुख केंद्र बन सकता है।

भारत ने अपने विकास अनुभव को ग्लोबल साउथ के साथ साझा करने की पेशकश की है और सेमीकंडक्टर क्षेत्र में शिक्षा एवं प्रशिक्षण का समर्थन करने हेतु अच्छी स्थिति में है।

निष्कर्ष

सेमीकंडक्टर और इससे संबंधित आपूर्ति एवं उत्पादन श्रृंखलाओं पर अमेरिका, चीन, यूरोपीय संघ, जापान, दक्षिण कोरिया और ताइवान जैसे प्रमुख देशों की नज़र रहेगी। विशेषतः चीन से जुड़ी प्रतिस्पर्धा, सहयोग एवं विवाद आगे भी जारी रहने की संभावना है। इस परिदृश्य में, भारतीय

नीति निर्माताओं को सक्रिय होने की जरूरत है, उन सभी प्रमुख देशों के साथ जुड़ने की जरूरत है जिनके साथ उनके साझा हित हैं, और भारत में जटिल सेमीकंडक्टर इकोसिस्टम को सक्षम करने हेतु आवश्यक नीतिगत बदलाव करने की जरूरत है। इसे देखते हुए सेमीकंडक्टर विकास एवं उद्योग में भारत का भविष्य उज्ज्वल नज़र आता है।

संदर्भ

- (1) Scientific Principles Conductors, Insulators, and Semiconductors, Department of Materials Science and Engineering, University of Illinois Urbana-Champaign, http://matse1.matse. illinois.edu/sc/prin.html
- (2) Semiconductors and the Semiconductor Industry, Manpreet Singh et al, R47508, 19 April 2023, Congressional Research Service, https:// crsreports.congress.gov
- (3) India Semiconductor Mission, https://ism. gov.in/
- (4) National Policy on Electronics 2019 (NPE 2019), Ministry of Electronics & Information Technology, Government of India, https:// www.meity.gov.in/writereaddata/files/eGazette_Notification_NPE%202019_dated%2025022019.pdf
- (5) Modified Programme for Semiconduc-tors and Display Fab Ecosystem, Ministry of Electronics & Information Technology, Government of India, https://www.meity.gov.in/esdm/Semiconductors-and-Display-Fab-Ecosystem
- (6) Gujarat is Vedanta's pick for $20-billion semiconductor foray, Financial Express, 13 September 2022, https://www.financialexpress.com/business/industry-gujarat-is-vedan-tas-pick-for-20-billion-semiconductor-for-ay-2664467/
- (7) Tatas may go for bigger play in electronics, semiconductors. Economic Times, 25 may 2023, https://economictimes.indiatimes.com/tech/technology/expansion-mode-tatas-may-go-for-bigger-play-in-electronics-semiconductors/articleshow/100483687.cms
- (8) India's Semiconductor Sector: Tracking Government Support and Investment Trends, India Briefing, 25 Septemebr 2023,https://www.india-briefing.com/news/setting-up-a-semiconductor-fabrication-plant-in-india-what-foreign-investors-should-know-22009.html/
- (9) Siliconpolitik: The Case for a Quad Semiconductor Partnership, Pranay Kotasthane, ISAS Working Paper 342, 26 April 2021, https:// www.isas.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2021/04/WP-342.pdf
- (10) MoU on semiconductor Supply Chain and Innovation Partnership between India and US signed following the Commercial Dia-logue 2023, Ministry of Commerce & Industry, Press Information Bureau, 10 March 2023, https://pib.gov.in/PressReleseDetail.aspx-?PRID=1905522#:~:text=A%20Memorandum%20of%20Understanding%20(MoU,in%20New%20Delhi%20Delhi%20today.

भारत का नैनो मिशन

परमेश्वर कृष्णन अय्यर

उभरती प्रौद्योगिकियाँ
और
भारतीय कूटनीति

कृत्रिम बुद्धिमत्ता | सेमीकंडक्टर | नैनोटेक्नोलॉजी

प्रस्तावना

नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी हर रोज इस्तेमाल की जाने वाली विभिन्न तकनीकों के अभिन्न अंग के रूप में उभरे हैं और कई क्षेत्रों में गेम-चेंजर रहे हैं, हालांकि, इन्हें अत्यधिक विघटनकारी भी कहा जाता है। नैनोटेक्नोलॉजी ने मूल विज्ञान की सभी शाखाओं जैसे जीव विज्ञान, रसायन विज्ञान, गणित और भौतिकी को सहज तरीके से एकीकृत किया है जिससे इन विषयों की सीमाएं समाप्त हो गई हैं। नैनोसाइंस में नैनोस्केल व्यवस्था में सामग्री की विशेषताओं का अध्ययन किया जाता है, ऐसे परिवर्तन जो कुछ दशकों पहले तक देखे तो गए थे लेकिन अनुभव नहीं किए गए थे। नैनोस्केल व्यवस्था में सामग्रियों की विशेषताओं की व्याख्या ने उपकरणों के विकास और प्रगति के साथ पूरे क्षेत्र ने किसी भी सामग्री के जटिल व्यवहार की मौलिक समझ को प्रभावित किया है क्योंकि इसका आकार एक नैनोमीटर (10-9 मीटर) तक कम गया है या जिसे 0.000000001 मी. में भी व्यक्त किया जा सकता है। इसी प्रकार, नैनोटेक्नोलॉजी नैनोमटेरियल्स के इन विशेष गुणों को इलेक्ट्रॉनिक्स, स्वास्थ्य देखभाल, ऊर्जा, उत्प्रेरण, बैंकिंग, परिवहन, विनिर्माण, रक्षा, संचार, कृषि, पर्यावरण एवं एडवांस कंप्यूटिंग के क्षेत्रों में विभिन्न नए अनुप्रयोगों में अनुवादित करती है।

नए आने वाले क्षेत्रों में जीन-एडिटिंग, एडिटिव मैन्युफैक्चरिंग (3-डी प्रिंटिंग), आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस, डीप स्पेस टेक्नोलॉजीज और क्वांटम कंप्यूटिंग जैसी तकनीकें शामिल हैं। ऐसी तकनीकों के आगमन से नैनो टेक्नोलॉजी का उपयोग सामाजिक सशक्तिकरण, लाखों नागरिकों के जीवन को उत्थान एवं सशक्त बनाने और मजबूत राजनयिक जुड़ाव तैयार करने में इन तकनीकों इस्तेमाल करने हेतु किया जाना चाहिए।

भारतीय नैनो मिशन के बारे में

भारत सरकार द्वारा किसी भी राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी मिशन को लॉन्च किए जाने का उद्देश्य सामाजिक सशक्तिकरण, रणनीतिक नेतृत्व, शैक्षणिक उत्कृष्टता, प्रौद्योगिकी उत्पादन एवं औद्योगिकीकरण जैसे विभिन्न सामाजिक पहलू होते हैं।

भारत सरकार द्वारा किसी भी राष्ट्रीय प्रौद्योगिकी मिशन को लॉन्च किए जाने का उद्देश्य सामाजिक सशक्तिकरण, रणनीतिक नेतृत्व, शैक्षणिक उत्कृष्टता, प्रौद्योगिकी उत्पादन एवं औद्योगिकीकरण जैसे विभिन्न सामाजिक पहलू होते हैं।

नैनोटेक्नोलॉजी आधुनिक मानवीय आवश्यकताओं में हस्तक्षेप का अनिवार्य क्षेत्र बन गया है।

इन दूरदर्शी बिंदुओं के आधार पर भारत में प्रमुख अनुसंधान एवं विकास पहलों में अंतःविषय क्षेत्रों तथा कई प्रमुख शैक्षणिक प्रचार गतिविधियों सहित मौलिक विज्ञान में हमारे वैज्ञानिकों की शैक्षणिक शक्ति को प्रोत्साहित करना शामिल है। इन्हें नैनो विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी पहल (एनएसटीआई) के अंतर्गत कई अत्यधिक आशाजनक तथा प्रतिस्पर्धी क्षेत्रों में लागू किया गया है, जिसमें बुनियादी विज्ञान और इंजीनियरिंग के कई और अंतःविषय विषय शामिल हैं, इसके साथ ही भारत सरकार ने भी मई 2007 में नैनो विज्ञान और प्रौद्योगिकी (नैनो मिशन) पर एक मिशन शुरू किया है। विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग, नई दिल्ली नैनो मिशन को लागू करने वाली नोडल एजेंसी थी। 2016 के बाद से, भारतीय नैनो पहल ने विशेष रूप से निम्नलिखित क्षेत्रों में नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी प्रकाशनों में अपने योगदान के ज़रिए वैश्विक रैंकिंग में तीसरा स्थान हासिल करके एक बड़ी उपलब्धि हासिल की है:

(क) कृषि

(ख) ऊर्जा और पर्यावरण

(ग) नैनो विज्ञान में क्वांटम सामग्री और अनुप्रयोग

अत्याधुनिक का सारांश

मेसोस्कोपिक (मध्याकार) वस्तुओं की आकर्षक दुनिया का पूर्वानुमान दशकों पहले रिचर्ड फेनमैन ने लगाया था, जिसमें उन्होंने लघु रूपांतरण (मिनीचिजेशन) की दुनिया की परिकल्पना की गई थी और नैनोसाइंस एवं नैनोटेक्नोलॉजी को शामिल करते हुए वर्तमान में लोकप्रिय क्षेत्रों की नींव रखी गई थी। नैनोटेक्नोलॉजी की यह यात्रा 1959 में फेनमैन की भविष्यवाणी "निचले स्तर पर काफी जगह है" के बाद से एक लंबा सफर तय कर चुकी है। नैनोटेक्नोलॉजी आज एक विशाल क्षेत्र है जो सरल से जटिल सामग्रियों से संबंधित है, ज्यादातर मेसोस्कोपिक व्यवस्था में,

जो उनकी विशेषता में हेरफेर करते हुए संभवतः विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के सभी क्षेत्रों में, जिससे हर संभव अनुप्रयोग प्रभावित होता है। आम तौर पर लगभग 100 नैनोमीटर माना जाता है, नैनोसिस्टम में परमाणुओं या अणुओं या नैनोस्कोपिक इलेक्ट्रॉनिक घटकों के विशिष्ट संग्रह हो सकते हैं, उदाहरण के लिए, सीपीयू के अंदर नैनो ट्रांजिस्टर। नैनो प्रणाली में बाहरी आयाम वाली किसी भी सामग्री को नैनोमटेरियल माना जा सकता है। अलग-अलग आयामों में आकार में कमी से परिरोध के स्तर के आधार पर नैनोमटेरियल्स के विभिन्न आकार जैसे नैनो शीट, नैनो डॉट्स, नैनो रॉड्स आदि को जन्म दिया जा सकता है। नैनोमटेरियल्स के बारे में सबसे आकर्षक अवलोकन यह है कि उनके भौतिक रासायनिक गुणों में सटीक रूप से बदलाव किया जा सकता है तथा समान संरचना होने के बावजूद उनकी अन्य समान गुणों की तुलना में काफी भिन्न हो सकते हैं। आयाम में कमी के परिणामस्वरूप सामग्री पर लगाए गए क्वांटम प्रभावों के कारण, नैनोमटेरियल में बहुत वांछनीय ऑप्टिकल, चुंबकीय, विद्युत, इलेक्ट्रॉनिक, रासायनिक और जैविक गुण हो सकते हैं जो अन्यथा उनके बल्क फॉर्म से अलग हैं।

इसने दुनिया भर के कई शोधकर्ताओं का ध्यान खींचा है, जिनका लक्ष्य स्वास्थ्य देखभाल, इलेक्ट्रॉनिक्स, ऊर्जा, कृषि आदि के क्षेत्रों में इन गुणों का उपयोग करना है। इसलिए, नैनो टेक्नोलॉजी आधुनिक मानव आवश्यकताओं में हस्तक्षेप का एक अनिवार्य क्षेत्र बन गया है। बहुत उच्च विशिष्ट सतह क्षेत्र, दिलचस्प इलेक्ट्रॉनिक परिवहन गुण तथा ऑप्टिकल विशेषताएँ नैनोमटेरियल को बहु-विषयक अनुप्रयोगों हेतु महत्वपूर्ण बनाती हैं। हेल्थकेयर क्षेत्र में दवाओं के वितरण के लिए वाहक के रूप में विशिष्ट नैनोमटेरियल की तलाश चल रही हैं। ऊर्जा क्षेत्र में भी ईंधन कोशिकाओं के लिए अधिक कुशल नैनो उत्प्रेरक एवं नई उभरती कृत्रिम प्रकाश संश्लेषण-आधारित ईंधन उत्पादन प्रणालियों की जरुरत है। नैनोट्रांसिस्टर्स, नैनोवायर आदि का उपयोग नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स आधारित प्रणालियों में किया जाता है जहां

आकार में महत्वपूर्ण कमी से अधिक गति एवं सटीकता पर तीव्र कंप्यूटिंग हो सकती है। इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्र में, नैनोमटेरियल्स ने माइक्रोप्रोसेसरों तथा चिप्स में थर्मल तनाव को खत्म करने का एक तरीका भी दिखाया है, जो लंबे समय तक चलने तथा तेज गति के लिए आवश्यक है। रक्षा क्षेत्र जैसे रणनीतिक क्षेत्रों में, नैनोमटेरियल्स ने काफी अपनी मजबूत उपस्थिति दर्ज कराई है। कोटिंग्स, इमेजिंग तथा संचार में उपयोग के अलावा, नैनोसेरामिक्स का उपयोग कवच में और तोपों के छिद्रों में घर्षण प्रतिरोधी के रूप में होता है। कठोर लक्ष्यों के लिए अधिक कुशल बैलिस्टिक भेदक के रूप में नैनोक्रिस्टलाइन धातुओं तथा कंपोजिट पर शोध किया जा रहा है। नैनोक्रिस्टलाइन एरोजेल फोम जैसी संरचनाएं भी हैं जो बेहद छिद्रपूर्ण हैं और उनका अत्यधिक कुशल थर्मल इंसुलेटर के रूप में उपयोग किया जाता है। नैनोमटेरियल्स और नैनोसिस्टम्स की अनंत संभावनाओं को ध्यान में रखते हुए, भारत सरकार ने नैनोटेक्नोलॉजी के विभिन्न पहलुओं में मौलिक एवं विकासात्मक अनुसंधान को बढ़ावा देने का निर्णय लिया।

नैनो विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी मिशन, जिसे नैनो मिशन भी कहा जाता है, भारत सरकार द्वारा मई 2007 में शुरू किया गया था। इसे दुनिया भर के नैनो बाजार में भारत को ऊपर उठाने हेतु नैनो विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के आकर्षक क्षेत्र में अनुसंधान और विकास को बढ़ावा देने हेतु "अम्ब्रेला क्षमता-निर्माण कार्यक्रम" के रूप में लॉन्च किया गया था। भारत सरकार के विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी मंत्रालय के तहत आने वाले विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विभाग (डीएसटी) ने नैनो विज्ञान और प्रौद्योगिकी पहल (एनएसटीआई) के अंतर्गत नैनो मिशन को बढ़ावा दिया। भारत सरकार के नैनो मिशन का मुख्य उद्देश्य बुनियादी अनुसंधान को बढ़ावा देना, बुनियादी ढांचे का विकास करना, नैनोमटेरियल्स और नैनोसिस्टम्स पर आधारित तकनीकों का विकास करना, मानव संसाधनों का विकास करना और अंतर्राष्ट्रीय सहयोग को बढ़ावा देना है। ज्ञात हो कि सरकार के ठोस प्रयासों से, नैनो मिशन योजना के तहत, भारत ने खुद को दुनिया

भर में शीर्ष 5 स्थानों में शामिल कर लिया है, हाल ही में नैनो विज्ञान एवं नैनो प्रौद्योगिकी में वैज्ञानिक योगदान के मामले में तीसरे स्थान पर आ गया है। इसलिए ऐसा माना जा सकता है कि नैनो मिशन को जबरदस्त सफलता मिली है, जिसे स्वीकार करते हुए, भारत सरकार ने परियोजना के चरण - II को जारी रखने का निर्णय लिया है।

नैनो मिशन के तहत नैनो विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी में अनुसंधान हेतु कई अलग-अलग परियोजनाओं, प्रौद्योगिकी विकास परियोजनाओं, उद्योग-अकादमिक वाली संयुक्त परियोजनाओं और अंतर्देशीय अवसंरचना के विकास का समर्थन किया गया है। कई परियोजनाओं को मौलिक वैज्ञानिक खोज के साथ-साथ बहुत प्रसिद्ध प्रकाशन के मामले में शानदार सफलता मिली है, जिसकी वजह से अत्यधिक प्रतिस्पर्धी वैश्विक मंच पर भारत की क्षमताएं सामने आई हैं। इनमें शिक्षा जगत में उल्लेखनीय योगदान शामिल है, जिनमें से कई पर संक्षेप में प्रकाश डाला गया है। बहुत शुरुआती चरण में आईआईटी गुवाहाटी के शोधकर्ता रेडॉक्स प्रतिक्रियाओं के लिए धातु नैनोकण-संचालन पॉलिमर के साथ-साथ परमाणु रूप से पतली पार्श्व आयामों पर लघु श्रृंखला अल्केन्स को ऑक्सीकरण करने हेतु परमाणु रूप से पतली मिट्टी की सामग्री को डिजाइन करने में सक्षम हुए हैं, जिससे बड़ी संख्या में ऑक्सीजन युक्त फीडस्टॉक का उत्पादन होता है। हमारे अनुसंधान समूह ने प्रकाश उत्सर्जक डायोड, फोटोवोल्टिक उपकरणों, पतली फिल्म ट्रांजिस्टर और बायोसेंसर एप्लिकेशन में अनुप्रयोगों के लिए कार्बनिक नैनोकणों के विकास का प्रदर्शन किया है। सौर ऊर्जा आधारित प्रौद्योगिकियाँ टिकाऊ ऊर्जा का भविष्य हैं, इसलिए सूर्य के प्रकाश का उचित उपयोग आवश्यक है। अपने विशिष्ट ऑप्टिकल गुणों के साथ नैनोमटेरियल्स, इसके लिए पहली प्राथमिकता है, तथा आईआईटी गुवाहाटी में कई ऑप्टिकल एप्लिकेशन के लिए तैयार किए गए हैं। उच्च परिशुद्धता मल्टीमॉडल बायोइमेजिंग एवं इससे संबंधित अनुप्रयोगों के लिए कंट्रास्ट एजेंट के रूप में केमिकल इंजीनियरिंग विभाग, आईआईटी कानपुर के अनुसंधान

समूह द्वारा विभिन्न लक्ष्य विशिष्ट नैनोमटेरियल विकसित किए गए थे। धात्विक नैनोआर्किटेक्चर की जांच के लिए, आईआईएसईआर पुणे द्वारा विकसित मल्टीमॉडल नॉनलाइनियर प्लाज्मा ऑप्टिकल माइक्रोस्कोपी वर्कस्टेशन भी एक बड़ी सफलता रही है। मणिपाल कॉलेज ऑफ फार्मास्युटिकल साइंसेज, कर्नाटक द्वारा की गई खोज ने siRNA के नैनोफॉर्म्यूलेशन और बायोनैनोटेक्नोलॉजी के उदाहरण के ज़रिए दवा प्रतिरोधी स्तन कैंसर के इलाज हेतु एक प्रभावी रणनीति दिखाई है। उच्च सरंध्रता की आवश्यकता वाले एप्लिकेशन हेतु नई पीढ़ी की सामग्री के रूप में धातु कार्बनिक ढांचे का व्यापक रूप से अध्ययन किया गया है। नैनो एमओएफ के आइसोरेटिक्यूलेशन, नैनोकण लोडिंग तथा विकास गतिशीलता पर सीएसआईआर-एनसीएल द्वारा किए गए अध्ययनों ने ऐसी संरचनाओं में आवश्यकतानुसार बदलाव का मार्ग प्रशस्त किया है। न केवल स्वास्थ्य सेवा, बल्कि कृषि क्षेत्र में भी नियंत्रित कीटनाशक वितरण नैनोकैरियर के रूप में नैनोमटेरियल्स का उपयोग पाया गया है। कॉपर और ग्राफीन ऑक्साइड आधारित ऐसे नैनोकैरियर को नैनो मिशन के समर्थन के तहत आईएनएसटी मोहाली (2013 में स्थापित डीएसटी संस्थान) द्वारा इसी उद्देश्य हेतु डिजाइन किया गया है। पेप्टाइड आधारित नैनोस्ट्रक्चर दुनिया भर के शोधकर्ताओं के लिए विशेष रुचि रखते हैं। नैनो मिशन के समर्थन से बैंगलोर विश्वविद्यालय द्वारा किए गए अध्ययन से कार्बनिक और पेप्टिडोमिमेटिक संश्लेषण के लिए पेप्टाइड आधारित नैनोकैटलिस्ट की ऐसी संभावनाएं दिखाई देती हैं। अमृता इंस्टीट्यूट ऑफ मेडिकल साइंसेज एंड रिसर्च सेंटर, कोच्चि द्वारा दर्द न्यूरॉन्स को लक्षित करने हेतु एक नैनो दृष्टिकोण का सफलतापूर्वक अध्ययन किया गया था।

कंपोजिट में सक्रिय घटक के रूप में नैनोमटेरियल्स पर काफी लंबे समय से खोज जारी है। एनआईटी राउरकेला द्वारा किए गए शोध से बोन टिश्यू इंजीनियरिंग के लिए बहुत अधिक नम क्षमता वाले नैनोकम्पोजिट-आधारित स्कैफल्ड की संभावनाएं सामने आईं। एमडब्ल्यूसीएनटी तथा

ग्राफीन जैसी निम्न आयामी सामग्रियों का अलग-अलग क्षेत्रों में उपयोग होता है। आईआईटी खड़गपुर के शोधकर्ताओं द्वारा किए गए विकास से ईएमआई परिरक्षण में इन सामग्रियों और उनके बहुलक नैनोकम्पोजिट्स की प्रभावशीलता का पता चला है। एसएसएन कॉलेज ऑफ इंजीनियरिंग चेन्नई द्वारा किए गए शोध के अनुसार कार्बन फोम पर एम्बेडेड नई पीढ़ी के नैनोकैटलिस्ट्स ने लिथियम-एयर टाइप की बैटरी में उल्लेखनीय प्रदर्शन दिखाया है। थर्मल सिस्टम से थर्मोइलेक्ट्रिक ऊर्जा उत्पादन हेतु नैनोमटेरियल भी काफी प्रभावी हैं। एनआईटी तिरुचिरापल्ली में नैनो मिशन के तहत इस उद्देश्य हेतु अधिक प्रभाविता के लिए मैग्नीशियम सिलिसाइड आधारित थर्मोइलेक्ट्रिक नैनोमटेरियल विकसित किया गया है। जैसा कि पहले चर्चा की गई है, पेप्टाइड-आधारित चिकित्सीय स्वास्थ्य सेवा क्षेत्र में बहुत आशाजनक हैं। बोस इंस्टीट्यूट कोलकाता, आईआईसीबी कोलकाता और जेएनसीएएसआर बैंगलोर के बीच एक संयुक्त नैनो मिशन परियोजना पेप्टाइड चिकित्सीय हेतु नैनो डिलीवरी कैरियर के विकास की दिशा में उपयोगी रही है। इसी तर्ज पर, आईआईएससी बैंगलोर द्वारा विकसित तर्कसंगत रूप से डिजाइन किए गए नैनोजाइम अमाइलॉइड बीटा एकत्रीकरण के खिलाफ काफी प्रभावी रहे हैं जो कई न्यूरोडीजेनेरेटिव रोगों का कारण बनता है। आईआईईएसटी शिबपुर द्वारा किए गए अध्ययन के अनुसार, ऊर्जा क्षेत्र में नैनोमटेरियल हमेशा आशाजनक सामग्री रहे हैं। क्वांटम डॉट डेकोरेटेड नैनो टिटानिया कंपोजिट डाई सेंसिटाइज्ड सौर कोशिकाओं और संबंधित प्रणालियों में बहुत प्रभावी रहे हैं। नैनोकणों का उच्च सतह क्षेत्र उन्हें सेंसर तथा इसी तरह के अनुप्रयोगों के लिए बहुत उपयुक्त बनाता है। बिट्स पिलानी के शोधकर्ता लैंथेनाइड डोप्ड हाइड्रॉक्सीपैटाइट नैनोमटेरियल्स पर आधारित एक मल्टीमॉडल सेंसिंग, इमेजिंग एवं चिकित्सीय प्लेटफॉर्म विकसित करने में सक्षम रहे हैं। आईएसीएस कोलकाता के शोधकर्ता इस संबंध में सफल रहे, उन्होंने ऐसे हेटेरो नैनोस्ट्रक्चर तैयार किए जो सौर स्पेक्ट्रम से विजिव्ल-एनआईआर प्रकाश प्राप्त कर सकते

हैं। न केवल स्वास्थ्य सेवा, ऊर्जा आदि बल्कि नैनोमटेरियल भी अपने अत्यधिक उच्च सतह क्षेत्र के कारण उत्प्रेरक हेतु बेहद महत्वपूर्ण हैं।

भारत सरकार के नैनो मिशन का मुख्य उद्देश्य बुनियादी अनुसंधान को बढ़ावा देना, बुनियादी ढांचे का विकास करना, नैनोमटेरियल्स एवं नैनोसिस्टम्स पर आधारित प्रौद्योगिकियों का विकास करना, मानव संसाधनों का विकास करना तथा अंतर्राष्ट्रीय सहयोग को बढ़ावा देना है।

सीएसआईआर-एनसीएल शोधकर्ताओं को फिशर ट्रॉप्स्च टाइप के संश्लेषण हेतु नैनो उत्प्रेरक का उपयोग करने में बड़ी सफलता मिली है, जहां सिनगैस को मूल्य वर्धित कार्बन ईंधन में बदला जाता है। विभिन्न स्वास्थ्य जोखिमों के साथ-साथ बीमारियों का तेजी से पता लगाने तथा निदान हेतु प्वाइंट ऑफ केयर तकनीके आजकल बेहद उपयोगी हैं। नैनो मिशन के समर्थन से, आईआईटी रोपड़ के शोधकर्ता सीएनटी को इलेक्ट्रोकेमिकल इम्यूनोसेंसर के रूप में उपयोग करते हुए, छोटे सेल फेफड़ों के कैंसर के तेजी से निदान हेतु ऐसी पीओसी प्रणाली बनाने में सक्षम हुए हैं। न केवल ऊर्जा उत्पादन, बल्कि उत्पन्न ऊर्जा का भंडारण भी उतना ही महत्वपूर्ण है। नैनोमटेरियल इसमें महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं, क्योंकि आईआईएसईआर पुणे के शोधकर्ताओं ने सस्ते धातु ऑक्साइड/सल्फाइड नैनोमटेरियल से सुपरकैपेसिटर बनाने की एक ऐसी विधि तैयार कि हैं, जो निकट भविष्य में टिकाऊ ऊर्जा भंडारण में बहुत महत्वपूर्ण साबित हो सकता है। नैनो मिशन योजना के तहत पूरे देश में शोधकर्ताओं द्वारा कई नैनोमटेरियल आधारित विशिष्ट दवा वितरण कार्गो सिस्टम विकसित किए गए हैं। हालाँकि, साउथ इंडिया टेक्सटाइल रिसर्च एसोसिएशन (एसआईटीआरए) तमिलनाडु द्वारा की गई खोज का उल्लेख करना उचित है, जो घाव पर दवाओं को नियंत्रित तरीके लगाने हेतु नैनोफाइबर झिल्ली आधारित घाव भरने वाले पैच विकसित करने में सक्षम रहे है। एक अन्य महत्वपूर्ण क्षेत्र जहां नैनोमटेरियल्स ने अपनी उपयोगिता साबित की है, वह है सेंसर। एनआईएसईआर भुवनेश्वर के शोधकर्ताओं ने चुंबकीय क्षेत्र सेंसर के रूप में उपयोग हेतु लौहचुंबकीय अर्धचालक और उनके हेटरोस्ट्रक्चर को डिजाइन किया है। इस प्रकार के छोटे फॉर्म फैक्टर सेंसर कम संसाधन की स्थिति एवं दूरस्थ अनुप्रयोगों में बहुत उपयोगी साबित हो सकते हैं। नैनोटेक्नोलॉजी का क्षेत्र न केवल विभिन्न कार्बनिक या अकार्बनिक रचनाओं के नैनोस्केल कणों तक सीमित है, बल्कि नैनोएग्रीगेट्स / नैनोमिकेल भी कई उद्देश्यों के लिए बहुत आशाजनक साबित हुए हैं। स्तन कैंसर के थेरानोस्टिक्स एवं उपचार के लिए सस्त्र विश्वविद्यालय, तमिलनाडु के शोधकर्ताओं द्वारा इस तरह की एक

बहुक्रियाशील और उत्तेजना प्रतिक्रियाशील चुंबकीय नैनो माइक्रेलर प्रणाली विकसित की गई है।

पर्यावरणीय सुधार एक अन्य संबंधित क्षेत्र है जिस पर ध्यान दिया जाना चाहिए। पेयजल की तेजी से होती कमी की वजह से पीने योग्य मौजूदा जल स्रोतों का पुनर्शोधन महत्वपूर्ण हो जाता है। नैनो मिशन ने भारती विद्यापीठ विश्वविद्यालय पुणे के शोधकर्ताओं के लिए इस तरह के दृष्टिकोण का समर्थन किया है, जिसमें दूषित पानी के अल्ट्राफिल्ट्रेशन के लिए ग्रेफाइट नैनोप्लेटलेट्स से युक्त नैनोमेम्ब्रेन का उपयोग किया गया है। उपचार के अलावा, मानव जाति के स्थायी अस्तित्व हेतु पर्यावरण के अनुकूल रासायनिक प्रक्रियाओं की भी अत्यधिक मांग है। प्रकाश अल्केन्स को ऑक्सीजन युक्त फीडस्टॉक्स में परिवर्तित करना रासायनिक उद्योग के बुनियादी निर्माण खंड हैं। हालाँकि, कई मामलों में पुरानी सामग्री एवं विधियाँ अक्सर पर्यावरण के लिए खतरनाक होती हैं और दूसरी ओर अप्रभावी भी होती हैं। यह विधि न केवल पर्यावरण के अनुकूल है, बल्कि अधिक कुशल भी है। नैनोमटेरियल से बने बैटरी इलेक्ट्रोड प्राचीन इलेक्ट्रोड की तुलना में अधिक लंबे समय तक चलने वाले और मजबूत साबित हो सकते हैं। आईआईएससी बैंगलोर के शोधकर्ताओं द्वारा किए गए विकास ने दर्शाया है, जहां नैनो-संरचित कैथोड और इंटरलेयर Na-S और Mg-S बैटरी सेट अप में चक्रीय उपयोग हेतु अधिक मजबूत साबित हुए हैं।

न केवल अकादमिक क्षेत्र में अनुसंधान परियोजनाएं, बल्कि नैनो मिशन ने तकनीकी विकास परियोजनाओं के लिए भी समर्थन दिया है, जहां अवधारणा का सबुत पहले ही दर्शाया जा चुका है और जहां प्रोटोटाइप या पायलट पैमाने पर उत्पादन/संचालन आवश्यक थे। सीएसआईआर एनसीएल और सीएसआईआर सीजीसीआरआई को धातु ऑक्साइड/सल्फाइड नैनोस्ट्रक्चर-आधारित चार्ज स्टोरेज उपकरणों पर उनके प्रौद्योगिकी विकास एवं नैनोकण अलंकृत ग्राफीन संशोधित माइक्रो इलेक्ट्रोड का उपयोग करके एक चिप सेटिंग पर प्रयोगशाला में न्यूरोट्रांसमीटर का बहुसंकेतन पता लगाने हेतु डीएसटी द्वारा

समर्थित किया गया है। सीएमआर इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी और सीएसआईआर एनसीएल को क्रमशः वीओसी डिटेक्शन और नैनो-हेटरोजंक्शन आधारित क्वांटम डॉट सौर कोशिकाओं के लिए नैनोप्लेटफॉर्म के विकास हेतु समर्थन दिया गया है। जैव ईंधन उत्पादन के लिए डायटम आधारित सौर पैनलों को एच.एस. गौर सेंट्रल यूनिवर्सिटी, मध्य प्रदेश में समर्थन दिया गया है। यूवी फिल्टर एप्लिकेशन हेतु बहुक्रियाशील धातु ऑक्साइड संशोधित वस्त्रों पर आईआईटी दिल्ली और शास्त्र विश्वविद्यालय द्वारा संचालित एक संयुक्त परियोजना को भी नैनो मिशन द्वारा समर्थित किया गया है। न्यूरोमॉर्फिक कंप्यूटिंग पर नैनो डिवाइस, एजीएनपी-ग्राफीन आधारित एंटी-जंग कोटिंग और नमी का पता लगाने हेतु नैनोपोरस सिरेमिक सेंसर को क्रमशः आईआईटी बॉम्बे, आईआईएससी बैंगलोर और सीएसआईआर सीजीसीआरआई में समर्थन दिया गया है। नैनो मिशन परियोजना के तहत आईआईटी रूड़की में कमरे के तापमान एमई-रैम और चुंबकीय सेंसर एप्लिकेशन के लिए नैनोस्ट्रक्चर्ड मल्टीफेरोइक हेटरोस्ट्रक्चर पर महत्वपूर्ण विकास किया गया है। 2डी नैनोमटेरियल्स आधारित गैर-वाष्पशील मेमोरी उपकरणों के विकास को जेएनयू दिल्ली में समर्थन दिया गया है, जबकि दवा वितरण के लिए द्वि-कार्यात्मक नैनो कैप्सूल आईआईटी कानपुर में विकसित किया गया है।

गैस पृथक्करण टाइप के एप्लिकेशन हेतु नैनो झिल्ली के विकास के लिए सीएसआईआर एनईआईएसटी और एनआईटी मिजोरम जैसे संस्थानों को सहायता दी गई है। आईआईटी मंडी में ग्राफीन आधारित नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स विकास का समर्थन किया गया है, जबकि आईआईटी इंदौर में सिलिकॉन आधारित नैनोफोटोनिक सिस्टम विकसित करने का समर्थन किया गया है। उन्नत कृषि के क्षेत्र में तकनीकी विकास परियोजनाओं को भी सरकार द्वारा समर्थन दिया गया है, जैसे शेर-ए-कश्मीर कृषि विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, जम्मू द्वारा संचालित उत्तर पश्चिमी हिमालय में वर्षा आधारित कृषि इकोसिस्टम में मक्का उत्पादन हेतु नैनो बायोचार आधारित सूक्ष्म उर्वरकों का उत्पादन और मूल्यांकन।

अनुसंधान एवं अनुप्रयोगों के लिए नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स नेटवर्क- NNetRA (अंतर-मंत्रालयी कार्यक्रम)

भारतीय विज्ञान संस्थान (आईआईएससी), भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान बॉम्बे (आईआईटीबी), भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली (आईआईटीडी), भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान गुवाहाटी (आईआईटीजी), भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान खड़गपुर (आईआईटीकेजीपी), भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान मद्रास (आईआईटीएम), में स्थित नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स सुविधाएं 2006 से 2017 तक MeitY (तत्कालीन DeitY) के समर्थन से संचालित रहीं। भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान हैदराबाद (आईआईटीएच) ने 2010 में अपनी गतिविधियां शुरू कीं और नैनो-एक्स के लिए नवोन्मेषन केंद्र की स्थापना की। 2011 में अपने अस्थायी परिसर में और अपनी क्षमताओं को नियमित रूप से बढ़ाया और अंततः अपनी आंतरिक फंडिंग और जापान इंटरनेशनल कोलैबोरेशन एजेंसी (जेआईसीए) की फंडिंग से वर्ष 2021 में इस सुविधा को स्थायी परिसर में बदल दिया। कुल मिलाकर, इन सुविधाओं में ₹950 करोड़ का संचयी निवेश किया गया है।

ये नैनोस्केल डिवाइसों के डिजाइन, निर्माण एवं विशेषताओं की व्याख्या/परीक्षण करने की सुविधाएं हैं और इनका उद्देश्य पूरे सेमीकंडक्टर/नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स इकोसिस्टम के शैक्षणिक प्रशिक्षण एवं अनुसंधान खंडों का गठन करना है। इन सुविधाओं ने भारत को वर्तमान तथा भविष्य के सभी क्षेत्रों में अकादमिक आउटपुट के साथ वैश्विक अनुसंधान एवं विकास मानचित्र पर ला दिया है। ये क्षेत्र राष्ट्रीय प्राथमिकताओं के अनुरूप हैं, कई राष्ट्रीय मिशनों एवं तकनीकी में योगदान करते हैं, जो भारत को एक राष्ट्र के रूप में रणनीतिक रूप से विशिष्ट स्थान पर पहुंचने में मदद करते हैं। चुनौतियों के बावजूद केंद्रों ने कई उच्च-टीआरएल प्रौद्योगिकियों की एक प्रौद्योगिकी पाइपलाइन स्थापित करते हुए प्रौद्योगिकी विकास एवं अनुवाद पर भी अधिक ध्यान केंद्रित किया है। इस पाइपलाइन से कम समय में 3900 से अधिक शोध पत्र, 721 पीएचडी, 397 पेटेंट, 57 प्रौद्योगिकियां, 40 प्रौद्योगिकी-हस्तांतरण और 15 स्टार्ट-अप की शुरुआत हुई है।

राष्ट्रीय सुविधाओं के रूप में, ये केंद्र भारतीय इकोसिस्टम में खुलापन लाते हैं, आईएनयूपी कार्यक्रमों के ज़रिए पूरे देश में प्रयोगात्मक सेमीकंडक्टर-आधारित नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स की सुविधा पेश करते हैं। आईएनयूपी कार्यक्रम ने 600 संस्थानों से अतिरिक्त 800 प्रकाशन, 600 पीएचडी थीसिस और 45 पेटेंट तैयार किए हैं, जिनमें से 96% टियर 2/3 हैं।

सेमीकंडक्टर विनिर्माण में भारत सरकार द्वारा दिए गए जोर की वजह से केंद्र अधिक महत्वपूर्ण हो गए हैं। इसलिए यह राष्ट्रीय केंद्र अगले 10 वर्षों के लिए केंद्रों को वित्त पोषित करने का एक योजना और एक मॉडल प्रस्तुत करता है, जो हमारे देश को कई तकनीकों में सबसे आगे ले जाएगा और सीमांत क्षेत्रों में कूटनीति का एक मजबूत साधन साबित होगा। मौजूदा फंडिंग मॉडल,

जिसमें संपोषण एवं शोध वितरण दोनों शामिल हैं, इष्टतम नहीं हैं। एक नया फंडिंग मॉडल ("संपोषण" मॉडल), जहां निश्चित आधार स्तर के समर्थन की गारंटी है, अनुसंधान एवं विकास परियोजनाओं से अलग मूल अनुसंधान से लेकर प्रौद्योगिकी हस्तांतरण तक सभी गतिविधियों को मजबूत करेगा। संपोषण मॉडल संयुक्त राज्य अमेरिका, कोरिया, ताइवान, जापान, जर्मनी और चीन जैसे स्थापित अर्धचालक इकोसिस्टम के साथ सफल मॉडल के अध्ययन पर आधारित है। नैनोटेक्नोलॉजी ने दुनिया भर के देशों में सामाजिक सशक्तिकरण हेतु एक प्रमुख भूमिका निभाई है और आईटी व इंटरनेट सुविधाओं के व्यापक एकीकरण के साथ, आवश्यक सेवाओं तक पहुंच, विशेष रूप से कम सेवा वाले क्षेत्रों में जबरदस्त वृद्धि हुई है। टेलीमेडिसिन ने दूरस्थ स्वास्थ्य देखभाल परामर्श को सार्थक बनाया है, ई-सरकारी सेवाएं सरकारी सूचना एवं सेवाओं तक ऑनलाइन पहुंच प्रदान करती हैं, और डिजिटल बैंकिंग व्यक्तियों को अपने वित्त को आसानी से प्रबंधित करने की सुविधा देती है। नैनोटेक्नोलॉजी आधारित सेवाओं तक ऐसी पहुंच व्यक्तियों को सशक्त बना सकती है, उनके जीवन की गुणवत्ता को बढ़ा सकती है और समावेशिता को बढ़ावा दे सकती है।

दृष्टिकोण

भारतीय सेमीकंडक्टर मिशन के लिए नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स

इलेक्ट्रॉनिक्स, फोटोनिक्स तथा माइक्रो/नैनो-इलेक्ट्रोमैकेनिकल सिस्टम जैसी एकीकृत सेमीकंडक्टर टेक्नोलॉजी कंप्यूटिंग, संचार, सेंसिंग, सूचना प्रदर्शन एवं ऊर्जा रूपांतरण के कई प्रारूपों के बिल्डिंग ब्लॉक हैं। सेमीकंडक्टर टेक्नोलॉजी ई-कॉमर्स, ई-बैंकिंग, डिजिटल सेवाओं, स्वास्थ्य एवं परिवहन (रेलवे सहित) के ग्रोथ ड्राइवर्स को रेखांकित करती हैं।

भारत में कमर्शियल सेमीकंडक्टर का विनिर्माण बहुत कम है, एक ऐसी कमी जिसे तुरंत दूर करने की आवश्यकता है और यह 1989 से जब सेमीकंडक्टर कॉम्प्लेक्स लिमिटेड में सिलिकॉन फाउंड्री एक आग दुर्घटना में नष्ट हो गई थी, लंबित है। कोविड-19 और इंटीग्रेटेड-चिप (आईसी) की कमी जैसी वैश्विक समस्याओं ने भारत में सेमीकंडक्टर विनिर्माण और कई रणनीतिक क्षेत्रों के लिए आवश्यक चिप्स और उपकरणों के समय पर विकास की आवश्यकता पर ध्यान केंद्रित किया है। इस बात को लेकर व्यापक सहमति है कि भारत को एक सेमीकंडक्टर विनिर्माण इकोसिस्टम बनाना चाहिए, न केवल रक्षा, एयरोस्पेस और परमाणु/स्वच्छ ऊर्जा के रणनीतिक क्षेत्रों के हित में, बल्कि डेटा, संचार और वितरित बिजली पर निर्मित 'स्मार्ट' नागरिक बुनियादी ढांचे के लिए भी। यह वह जरुरत थी जिसके कारण हाल ही में "भारत में सेमीकंडक्टर्स एवं डिस्प्ले मैन्युफैक्चरिंग इकोसिस्टम विकास कार्यक्रम" की घोषणा की गई। "विनिर्माण कार्यक्रम" हाल ही में बनाए गए "भारतीय सेमीकंडक्टर मिशन" के माध्यम से देश में सेमीकंडक्टर डिजाइन और निर्माण इकोसिस्टम को उत्प्रेरित करने हेतु ₹76000 करोड़ की भारत सरकार की पहल है।

इस बात को लेकर व्यापक सहमति है कि भारत को एक सेमीकंडक्टर विनिर्माण इकोसिस्टम बनाना चाहिए, न केवल रक्षा, एयरोस्पेस और परमाणु/स्वच्छ ऊर्जा के रणनीतिक क्षेत्रों के हित में, बल्कि डेटा, संचार और वितरित बिजली पर निर्मित 'स्मार्ट' नागरिक बुनियादी ढांचे के लिए भी।

भारत सरकार ने $10 बिलियन के निवेश के साथ "भारतीय सेमीकंडक्टर मिशन" लॉन्च किया है। यह परियोजना काफी महत्वपूर्ण है, जो भारत में सेमीकंडक्टर फैब्स स्थापित करने हेतु वित्तीय प्रोत्साहन प्रदान करती है। एक स्थायी इकोसिस्टम बनाने के लिए, सेमीकंडक्टर मिशन ने "क्षमता निर्माण, प्रशिक्षण, साझेदारी और अनुसंधान एवं विकास" के लिए परिव्यय का 2.5% निर्धारित किया है। ये गतिविधियां वास्तव में नैनो मिशन के तहत भारत सरकार द्वारा स्थापित नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स केंद्रों का मिशन एवं उद्देश्य हैं।

अकादमिक नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स केंद्र इकोसिस्टम के लिए महत्वपूर्ण हैं क्योंकि:

- अकादमिक नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स केंद्र बुनियादी अनुसंधान एवं विकास पर केंद्रित हैं। इसलिए, वे कमर्शियल तथा प्रोटोटाइप फैब्स में प्रक्रियाओं के समस्या निवारण और परिशोधन हेतु ज्ञान के भंडार का कार्य करते हैं।
- अकादमिक नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स केंद्रों में टूलसेट लचीला एवं अनावश्यक है, इसलिए कई उपकरणों और प्रौद्योगिकियों को एक साथ संसाधित किया जा सकता है। यह लचीलापन किसी प्रोटोटाइप या कमर्शियल फैब के लिए उपलब्ध नहीं है, इसलिए वे अवधारणाओं के साक्ष्य के लिए अकादमिक केंद्रों पर निर्भर रहते हैं।
- शैक्षणिक केंद्र कमर्शियल तथा प्रोटोटाइप फैब में कार्यरत कर्मचारियों को प्रशिक्षित करते हैं।

मुख्य आवश्यकताएँ हैं:

- रेडीमेड इंफ्रास्ट्रक्चर : 6 आईआईटी तथा आईआईएससी में सात केंद्र 60000 वर्ग फुट में फैले ₹1050 करोड़ के संचयी निवेश के साथ बड़ी अत्याधुनिक अनुसंधान एवं विकास सुविधाएं हैं। वे अर्धचालक प्रौद्योगिकियों में भारत के भविष्य के लिए महत्वपूर्ण हैं। आईएसएम के लिए प्रशिक्षण एवं अनुसंधान केवल इन सुविधाओं में ही हो सकता है।

एक स्थायी इकोसिस्टम बनाने के लिए, सेमीकंडक्टर मिशन ने "क्षमता निर्माण, प्रशिक्षण, साझेदारी और अनुसंधान एवं विकास" के लिए परिव्यय का 2.5% निर्धारित किया है। ये गतिविधियां वास्तव में नैनो मिशन के तहत भारत सरकार द्वारा स्थापित नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स केंद्रों का मिशन एवं उद्देश्य हैं।

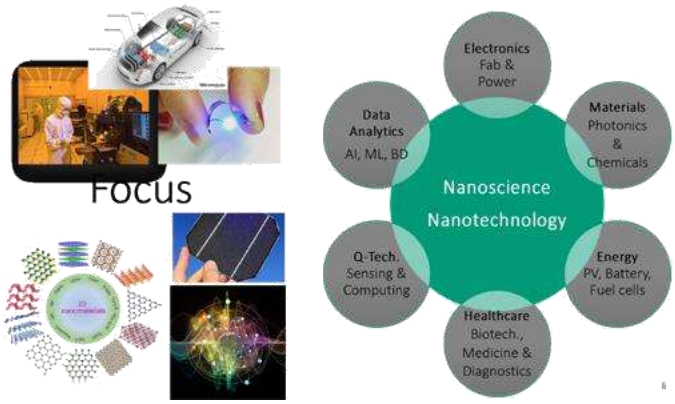
- आईएसएम के लिए प्रशिक्षण: आईएसएम को अगले 5 वर्षों में 5000 पीएचडी तथा 30000 बीटेक/एमटेक की आवश्यकता है।

  फैब्रिकेशन तथा डिज़ाइन के बीच 50:50 का विभाजन मानते हुए, 2500 पीएचडी एवं 15000 बीटेक/एमटेक को नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स फैब्रिकेशन में प्रशिक्षित किया जाना चाहिए। आईआईटी और आईआईएससी के केंद्रों को आंतरिक छात्रों, बाहरी छात्रों एवं प्रमाणन कार्यक्रमों के संयोजन के ज़रिए इन सभी आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए अच्छी तरह से सुसज्जित होना चाहिए।

- सेमीकंडक्टर आर एंड डी: इन सुविधाओं को बनाए रखने हेतु केंद्र गणना, मेमोरी, ऑटोमोटिव और मोबिलिटी के क्षेत्रों में आईएसएम की आर एंड डी जरूरतों को पूरा करने के लिए अन्य स्रोतों से अतिरिक्त 23% जुटाएंगे।

- उद्योग समर्थन: केंद्रों को ऐसे हब का काम करना चाहिए जो सेमीकंडक्टर उद्योग को उच्च-मूल्य वाली सेवाएं प्रदान करते हैं, जैसे, विफलता विश्लेषण, उन्नत लक्षण वर्णन, इकाई-प्रक्रिया विकास, उपकरण सत्यापन, लीजिंग क्लीनरूम स्पेस और उपभोज्य योग्यता।

सेमीकंडक्टर, सोलर सेल, हेल्थकेयर और ग्रीन हाइड्रोजन के प्रमुख क्षेत्रों में अनुसंधान, नवोन्मेष, अनुवाद तथा उद्यमिता के ज़रिए राष्ट्रीय शिक्षा नीति के कार्यान्वयन में आईआईटी गुवाहाटी में सेंटर फॉर नैनोटेक्नोलॉजी (सीएफएन) की भूमिका



नैनोटेक्नोलॉजी के लिए इंस्ट्रुमेंटेशन शामिल हैं।

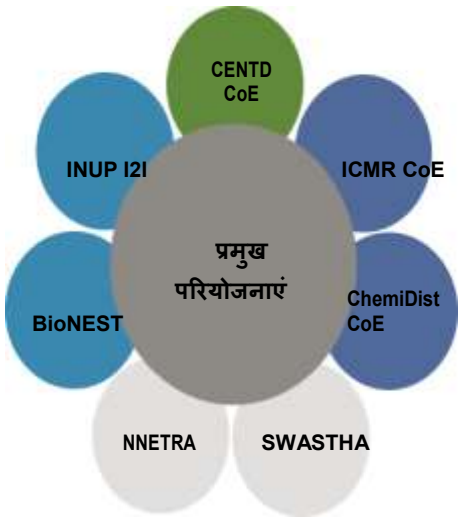
भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान गुवाहाटी में नैनोटेक्नोलॉजी केंद्र की स्थापना 2004 में नैनोइलेक्ट्रॉनसिस के अंतःविषय क्षेत्र में अनुसंधान एवं विकास को बढ़ावा देने के उद्देश्य से की गई थी। नैनोस्केल पर विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी के बहु-विषयक क्षेत्रों के लिए मानव संसाधन विकसित करें तथा उद्योग के साथ शैक्षणिक साझेदारी बढ़ाएं। मिशन का उद्देश्य नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स में शिक्षण एवं अनुसंधान में उत्कृष्टता हासिल करना, उत्तर पूर्व क्षेत्र में अत्याधुनिक बुनियादी ढांचे का विकास करना और उद्योग व शिक्षा जगत के साथ सहयोग करना है।

केंद्र द्वारा प्रस्तावित पाठ्यक्रम अत्यधिक बहु-विषयक हैं। इनमें नैनो डिवाइस : निर्माण, उत्पादन एवं पेटेंट राइटिंग, नैनोटेक्नोलॉजी प्राइमर, क्वांटम मैकेनिक्स एवं स्पेक्ट्रोस्कोपी, प्रैक्टिकल क्वांटम मैकेनिक्स और इसके अनुप्रयोग, नैनोटेक्नोलॉजी में हालिया प्रगति, नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी में फ्रंटियर्स, नैनोबायोसिनेसिस और

लगभग कुछ दशकों में, केंद्र ने (I) नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स थेरानोस्टिक उपकरणों के अनुसंधान एवं विकास और (II) आणविक, बहुलक एवं मिश्रित सामग्री पर आधारित ओएलईडी, कार्बनिक सौर सेल और टीएफटी के डिजाइन एवं विकास और निर्माण में कई उत्कृष्टता केंद्र स्थापित किए हैं। केंद्र बायोनेस्ट के रूप में एक इनक्यूबेटर की भी मेजबानी करता है। केंद्र का अनुसंधान मुख्यतः नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स, स्वास्थ्य देखभाल, उन्नत सामग्री, ऊर्जा संचयन, नैनो-जैव प्रौद्योगिकी, पर्यावरण विज्ञान एवं जैव-प्रेरित प्रौद्योगिकियों में स्वदेशी प्रौद्योगिकियों और कुशल मानव संसाधनों को विकसित करने पर केंद्रित है। इसके अलावा, उत्तर पूर्व क्षेत्र में नागरिकों की जरूरतों को पूरा करने हेतु घातक बीमारियों का पता लगाने के लिए कम लागत वाले स्वदेशी उपकरणों का विकास केंद्र का प्राथमिक उद्देश्य है। ये उद्देश्य भारत सरकार की उन्नत भारत, स्किल इंडिया, डिजिटल इंडिया और मेक इन इंडिया पहल से संबंधित राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय अपेक्षाओं के अनुरूप हैं।

नियमित शैक्षणिक एवं अनुसंधान सुविधाओं के अलावा, केंद्र अत्याधुनिक निर्माण एवं विशेषता की व्याख्या हेतु परमाणु बल माइक्रोस्कोपी, सुपर रेजोल्यूशन कन्फोकल माइक्रोस्कोप, फोटोलिथोग्राफी, इलेक्ट्रॉन बीम लिथोग्राफी, ऑक्सीकरण प्रसार भट्टियां, जांच स्टेशन, स्पटरिंग इकाइयां, भौतिक एवं रासायनिक वाष्प जमाव इकाइयां और नैनोस्केल पर अत्याधुनिक कम्प्यूटेशनल सुविधाओं के साथ कक्षा 100 और कक्षा 1000 क्लीनरूम सुविधाओं की मेजबानी करेगा।

वर्तमान में, यह केंद्र भारत और विदेश में अग्रणी शैक्षणिक एवं अनुसंधान उत्कृष्टता केंद्रों में से एक है। केंद्र में कक्षा 1000 और कक्षा 100 बे के साथ 300 वर्ग मीटर का क्लीनरूम है। क्लीनरूम एक यूटिलिटी बिल्डिंग द्वारा समर्थित है जिसमें डीआई जल संयंत्र, संपीड़ित शुष्क वायु संयंत्र, ठंडा पानी संयंत्र, विशेष गैस टैंक, यूपीएस, एयर-हैंडलर, विद्युत वितरण पैनल इत्यादि शामिल हैं।



भारत का नैनो मिशन

विगत छह वर्षों में, सीएफएन-आईआईटीजी सुविधा ने पूर्वोत्तर क्षेत्र में 530 से अधिक प्रतिभागियों को अत्याधुनिक सुविधाओं तक पहुंच प्रदान की है। इसके अलावा, आईआईटीजी के 30 से अधिक अनुसंधान समूह अपने अनुसंधान हेतु इस सुविधा का उपयोग करते हैं। अब तक लगभग 60 पीएचडी थीसिस और 100 से अधिक एमटेक और 100 बीटेक प्रोजेक्ट इन सुविधाओं से लाभान्वित हो चुके हैं। केंद्र से जुड़े बहु-विषयक कार्यबल ने अच्छी संख्या में अनुलेखन और लगभग 50 पेटेंटों के साथ अंतर्राष्ट्रीय पत्रिकाओं में 350 से अधिक शोध लेख प्रकाशित किए हैं। यह सुविधा शायद देश के पूर्वोत्तर क्षेत्र में मौजूद एकमात्र सुविधा है।

केंद्रीय क्षेत्र

सेमीकंडक्टर एप्लिकेशन	पूर्वोत्तर भारत की बड़ी चुनौतियों में से एक इसकी समृद्ध जैव-विविधता और उच्च-स्तरीय अनुसंधान, इंजीनियरिंग एवं ट्रांसलेशन हेतु अच्छी गुणवत्ता के मानव संसाधनों के बावजूद सुविधाओं की कमी है। राष्ट्रीय शिक्षा नीति - एनईपी 2020 का प्रमुख उद्देश्य ऐसे व्यावहारिक घटकों पर विशेष बद देते हुए क्षमता सृजन हेतु उन्नत अनुसंधान और ट्रांसलेशनल प्रशिक्षण के लिए डिजिटल प्रमाणन कार्यक्रम तैयार करना है। इस दिशा में, पिछले दशक में उत्तर-पूर्व (एनई) क्षेत्र में माइक्रो/नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स आर एंड डी और ट्रांसलेशनल रिसर्च हेतु आवश्यक अत्याधुनिक अवसंरचना की स्थापना में आईआईटी गुवाहाटी में सेंटर फॉर नैनोटेक्नोलॉजी (सीएफएन) की अभूतपूर्व सफलता देखी गई है। सीएफएन की प्रमुख विशेषताओं में से एक आईआईटीजी में आधुनिक माइक्रो/नैनोस्केल इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के अत्याधुनिक निर्माण, विशेषता व्याख्या तथा परीक्षण को लक्षित करने वाले पायलट-स्केल क्लीन रूम की स्थापना है, जो संभवतः उत्तर पूर्व भारत में अपनी तरह का पहला है। MeitY द्वारा निर्धारित इस बेंचमार्क के पश्चात, एक स्वभाविक विस्तार एनआईटी, आईआईआईटी और उत्तर पूर्व क्षेत्र के विश्वविद्यालयों से माइक्रो/नैनोस्केल इलेक्ट्रॉनिक अनुसंधान और ट्रांसलेशन को विकसित करने में इन अत्याधुनिक सुविधाओं तक पहुंच प्रदान करके मानव संसाधनों के एक बड़े हिस्से का कौशल बढ़ाना है। अच्छी बात यह है कि, विगत कुछ वर्षों में, MeitY के तत्वावधान में एनडब्ल्यूएनटीडी - एनईएमएस / एमईएमएस थेरानोस्टिक डिवाइसेस पर राष्ट्रीय कार्यशाला, और आईएनयूपी-I2I - भारतीय नैनो उपयोगकर्ता कार्यक्रम जैसे विभिन्न

	कार्यक्रमों को सीएफएन द्वारा 700 से अधिक प्रतिभाशाली प्रतिभागियों को नैनोस्केल उपकरणों का निर्माण, विशेषता व्याख्या, परीक्षण और सिमुलेशन पर प्रशिक्षित करने हेतु कार्यान्वित किया गया है। इसके अलावा, सीएफएन के अंतर्गत MeitY के समर्थन से एनएसडीसी द्वारा प्रमाणित प्रति वर्ष 100 पैरामेडिक्स को भी प्रशिक्षित किया जा रहा है। सीएफएन एनई पर विशेष बल देते हुए देश के विभिन्न हिस्सों के शिक्षाविदों, अनुसंधान एवं विकास केंद्रों तथा उद्योग के शोधकर्ताओं के लिए आईआईटीजी में स्थापित अत्याधुनिक सुविधाओं का प्रसार करने में सक्षम है। 7 एनआईटी, 3 आईआईआईटी, 70 केंद्रीय तथा निजी विश्वविद्यालयों और पूर्वोत्तर भारत के कई अनुसंधान संस्थानों के प्रतिभाशाली छात्रों और संकाय सदस्यों को सेमीकंडक्टर उपकरणों में प्रशिक्षित करने में आईएनयूपी-आई2आई जैसे कार्यक्रमों के ज़रिए सुविधाएं विभिन्न तरीकों से उपयोगी रही हैं, जो भारत सरकार की "भारतीय सेमीकंडक्टर मिशन" पहल के अनुरूप है। इसके अलावा, प्रमुख ध्यान आर एंड डी कर्मियों को प्रशिक्षित करने पर है जो देश में ट्रांसलेशनल सेमीकंडक्टर अनुसंधान को बढ़ावा देने के लिए स्टार्ट-अप/एसएमई/एमएसएमई का नेतृत्व कर सकते हैं। पायलट-स्केल फैब्रिकेशन का इस्तेमाल हालिया मेगा-फैब MeitY पहल से संबद्ध राष्ट्रीय अनुपूरक प्रशिक्षण केंद्र के रूप में भी किया जा सकता है।
हेल्थकेयर एप्लिकेशन के लिए पहनने योग्य इलेक्ट्रॉनिक्स और पीओसी डिवाइस	इलेक्ट्रॉनिकी और सूचना प्रौद्योगिकी मंत्रालय - MeitY, भारत सरकार के सहयोग से भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान गुवाहाटी ने "नैनोइलेक्ट्रॉनिक थेरानोस्टिक उपकरणों के अनुसंधान एवं विकास में उत्कृष्टता केंद्र" और "हेल्थकेयर ASICs में स्मार्ट पहनने योग्य एडवांस नैनोसेंसिंग टेक्नोलॉजीज" के रूप में एक अत्याधुनिक शैक्षणिक सह अनुसंधान नैनो-फैब्रिकेशन सुविधा स्थापित करने की परिकल्पना की है। पिछले एक दशक में, इस पहल के तहत, आईआईटी गुवाहाटी और MeitY ने 'आत्मनिर्भर भारत' मिशन के तहत अत्याधुनिक स्वदेशी उपकरणों के विकास की दिशा में एक बड़े लक्ष्य के साथ निम्नलिखित वैज्ञानिक और तकनीकी वस्तुओं की सामूहिक योजना बनाई और वितरित की है। 1. पूर्वोत्तर भारत में पहली बार 10,000 वर्ग मीटर क्षेत्र में एक नए सेंटर फॉर नैनोटेक्नोलॉजी की स्थापना, जो आईएसओ 5 और 6 क्लिनरुम और अत्याधुनिक निर्माण वाली 23 अत्याधुनिक प्रयोगशालाओं - लिथोग्राफी, सीवीडी व पीवीडी रिएक्टर, ऑक्सीकरण और विसरण भट्टियाँ, और प्रिंटर, विशेषता व्याख्या - कन्फोकल और इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप, यूवी-विज़ स्पेक्ट्रोस्कोपी, और एएफएम-रमन-टीईआरएस और परीक्षण - आईवी-सीवी विश्लेषक, एसी/डीसी/आरएफ जांच स्टेशन, नेटवर्क विश्लेषक

	सुविधाओं से सुसज्जित है। 2. यकृत / वृक्क / अग्न्याशय की स्थिति का पता लगाने, रोगजनकों एवं कैंसर मार्करों का पता लगाने के लिए उच्च व्यावसायिक क्षमता वाले कई स्वास्थ्य देखभाल उपकरणों का विकास। इस प्रक्रिया में, 7 प्रौद्योगिकी हस्तांतरण एवं उच्च प्रभाव वाली अंतरराष्ट्रीय पत्रिकाओं में 280 से अधिक प्रकाशन, 40 से अधिक पेटेंट, 30 प्रोटोटाइप, 50 पीएचडी छात्र और जनशक्ति प्रशिक्षण। 3. टीआरएल 2 से 5 के स्तर पर स्वदेशी नैनोबायोसेंसर के साथ एकीकृत एसएडब्ल्यू, एफईटी, माइक्रोफ्लुइडिक, एमईएमएस और एनडब्ल्यूएफईटी उपकरणों का विकास, जिसमें उनमें से कुछ को स्टार्टअप द्वारा एक उत्पाद में अनुवादित किया जाता है, जो बाजार में उतारने के लिए तैयार है। विशेष रूप से, लीवर/किडनी/अग्नाशय के स्वास्थ्य का पता लगाने, रोगजनकों (जैसे यूटीआई) और कैंसर मार्करों (सरवाइकल, लीवर व अन्य) का पता लगाने के लिए मितव्ययी और कम लागत वाले पॉइंट-ऑफ-केयर स्वास्थ्य देखभाल उपकरण विकसित किए गए हैं। 4. सामग्री और नैनोइलेक्ट्रॉनिक्स से संबंधित क्षेत्र में कई स्टार्टअप जैसे कि मैसर्स प्राइमरी हेल्थटेक प्राइवेट लिमिटेड, मैसर्स बायोएप्टाजेन प्राइवेट लिमिटेड और मैसर्स जेएसवी इनोवेशन प्राइवेट लिमिटेड की मदद करना और मैसर्स विवोकॉन प्राइवेट लिमिटेड, मैसर्स केमिडिस्ट प्राइवेट लिमिटेड जैसे उद्योग के साथ उपयोगी साझेदारी स्थापित करना। 5. कई भविष्य की गतिविधियों जैसे आईएनयूपी-आई2आई, स्वास्थ्य, और विशेष रूप से MeitY में फंडिंग एजेंसियों द्वारा प्रायोजित अन्य सीओई के लिए स्थापित सुविधा की उपयोगिता।
सोलर सेल डिवाइस	सेंटर फॉर नैनोटेक्नोलॉजी (सीएफएन), आई.आई.टी., गुवाहाटी में किफायती हरित ऊर्जा एवं फोटोवोल्टिक्स अनुसंधान के प्रमुख क्षेत्र रहे हैं। सौर कोशिकाओं को अर्धचालक पॉलिमर एवं कार्बनिक-अकार्बनिक हाइब्रिड सेमिकंडक्टर जैसे समाधान-प्रक्रिया योग्य सामग्रियों का उपयोग करके डिजाइन एवं विकसित किया जा रहा है। विगत कुछ वर्षों में, हैलाइड पेरोव्स्काइट्स ने लगभग सिलिकॉन जैसी अपनी विशेषता के कारण ध्यान आकर्षित किया है। सीएफएन में, 3डी एमएपीबीआई3, डबल केशन पेरोव्स्काइट्स, मिक्सड-हैलाइड पेरोव्स्काइट्स, 2डी/3डी मिश्रित-आयामी पेरोव्स्काइट्स, 3डी एवं निम्न-आयामी सीसा रहित टिन पेरोव्स्काइट्स आदि जैसे विभिन्न पेरोव्स्काइट्स का इस्तेमाल करके एकल जंक्शन सौर सेल विकसित किए जा रहे हैं। विशेष इंटरफ़ेस और एडिटिव इंजीनियरिंग रणनीतियों का

	इस्तेमाल करके उच्चतम-रिपोर्ट की गई बिजली रूपांतरण दक्षता (पीसीई) हासिल की गई है। इन उपकरणों की स्थिरता में दोष एवं सतह निष्क्रियता द्वारा सुधार किया गया है। ऐसे सौर कोशिकाओं की भौतिकी की जांच प्रतिबाधा तथा गहरे स्तर की क्षणिक स्पेक्ट्रोस्कोपी जैसी उन्नत विशेषता व्याख्या करने वाली तकनीकों का उपयोग करके की जाती है। व्यापक सिमुलेशन इन-हाउस विकसित और पेटेंट किए गए एमएटीएलएबी एल्गोरिदम का उपयोग करके किया जाता है, और उद्योग-मानक 2डी और 3डी टीसीएडी सॉफ़्टवेयर जैसे सेंटोरस - एटलस, सिल्वाको - विक्ट्री और ल्यूमेरिकल द्वारा भी किया जाता है। प्रतिबिंब हानि को कम करके और सक्रिय परतों में वाहक उत्पादन दर को बढ़ाकर अग्रानुक्रम एवं ट्रिपल जंक्शन पीएससी के प्रदर्शन में सुधार के लिए ऑप्टिकल मॉडलिंग हेतु तीन अलग-अलग एल्गोरिदम विकसित किए गए हैं। कोण-निर्भरता दक्षताओं का अध्ययन करके ऐसे उपकरणों के लिए मासिक ऊर्जा घनत्व का पूर्वानुमान लगाया गया है। सिंगल जंक्शन और अग्रानुक्रम पीएससी में प्लास्मोनिक्स, लाइट ट्रैपिंग डिजाइन एवं द्विफेशियल अनुप्रयोगों की भूमिका विकसित की गई है। एनर्जी पेबैक टाइम (ईपीबीटी) और ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन कारक (जीईएफ) जैसे मापदंडों का अनुमान लगाकर उपकरणों के पर्यावरण एवं जीवन चक्र का आकलन किया जाता है।
स्पेशिएलिटी केमिकल्स, उर्वरक और हरित हाइड्रोजन के लिए नैनो-कैटलिसिस	जीवाश्म ईंधन की बढ़ती कमी, मानवजनित उत्सर्जन एवं लगातार बढ़ती ऊर्जा खपत ने नवीकरणीय संसाधनों पर आधारित भविष्य की ऊर्जा प्रणाली में रुचि बढ़ा दी है। प्रचुर तथा आसानी से उपलब्ध फीडस्टॉक और ऊर्जा भंडारण का उपयोग जो कार्बन फुटप्रिंट में योगदान नहीं देता है, दो वैश्विक चुनौतियां हैं जिन्होंने दुनिया भर के शोधकर्ताओं का ध्यान आकर्षित किया है। 2023 में भारत द्वारा आयोजित जी20 शिखर सम्मेलन की प्राथमिकताओं के अनुरूप, आईआईटी गुवाहाटी सस्ती, उच्च-प्रदर्शन एवं पर्यावरण-अनुकूल ऊर्जा भंडारण और उत्पादन प्रणाली विकसित करने की दिशा में काम कर रहा है जो टिकाऊ भी हैं। स्थायी भविष्य के निर्माण में यह संस्थान का प्रमुख योगदान होगा। मौजूदा परिदृश्य में जहां ऊर्जा की मांग लगातार बढ़ रही है, सस्ती, उच्च-प्रदर्शन, टिकाऊ एवं पर्यावरण के अनुकूल ऊर्जा भंडारण और उत्पादन प्रणालियों का विकास अत्यंत महत्वपूर्ण है। इस संदर्भ में, हरित हाइड्रोजन उत्पादन और कार्बन डाइऑक्साइड पृथक्करण के सतत लक्ष्यों को साहिल करने की दिशा में आईआईटी गुवाहाटी में कई प्रयास चल रहे हैं। इसमे शामिल है: 1. हरित हाइड्रोजन के उत्पादन के लिए पेरोव्स्काइट ऑक्साइड आधारित उत्प्रेरक का विकास

	2. औद्योगिक/बायोमास कचरे को हाइड्रोजन में बदलने वाली कुशल उत्प्रेरक प्रणालियों का निर्माण 3. सौर ऊर्जा को हरित हाइड्रोजन में बदलने के लिए फोटोकैटलिस्ट का विकास 4. कृत्रिम प्रकाश संश्लेषण की नकल करने के लिए सस्ते, कम विषैले तथा कुशल उत्प्रेरक का विकास इसके साथ ही, आईआईटी गुवाहाटी ने अमोनिया को ग्रीन हाइड्रोजन में बदलने हेतु अच्छे प्रोटोकॉल के विकास के अलावा कृषि-आधारित फीडस्टॉक से इथेनॉल निर्माण से संबंधित नई पीढ़ी की प्रौद्योगिकियों और उत्पादों को विकसित करने एवं व्यावसायीकरण करने के उद्देश्य से केमडिस्ट सेंटर ऑफ एक्सीलेंस फॉर इंडस्ट्रियल नैनोटेक इनोवेशन (सीडी-सीओई) की भी स्थापना की है।

राष्ट्रीय लाभ और उसके परे

यदि अनुसंधान नीतियों को राष्ट्र के लाभ को ध्यान में रखते हुए संचालित किया जाए तो हमारा राष्ट्र "विश्व मंच पर भारतीय राष्ट्रीय हित को और अधिक आत्मविश्वास से मुखर करने" हेतु भारत की वैज्ञानिक क्षमता का इस्तेमाल करके अधिक लाभ हासिल कर सकता है। ये नीतियां किसी भी विकासशील राष्ट्र के लिए महत्वपूर्ण एवं निर्णायक कारक हैं, जहां अर्धचालक जैसी विशिष्ट प्रौद्योगिकियां जो नैनोसाइंस तथा नैनोटेक्नोलॉजी पहलुओं पर बहुत अधिक निर्भर हैं और कई संबद्ध उद्योग तेजी से विकसित हो रहे इस बहु-विषयक क्षेत्र पर निर्भर हैं जो न केवल सामाजिक सशक्तिकरण को प्रभावित करता है, बल्कि सामूहिक रूप से राजस्व सृजन का एक प्रमुख स्रोत है तथा बड़े पैमाने पर निर्यात क्षमता वाला क्षेत्र भी है।

ऐसे विशिष्ट क्षेत्र ऐसे आधार की तरह हैं जो किसी राष्ट्र या मुख्य व्यवसाय समूह को दीर्घकालिक रणनीति विकसित करने की सुविधा देते हैं और किसी भी राष्ट्र को राजनयिक जुड़ाव के लिए एक मजबूत आधार प्रदान करते हैं। इसके अलावा, इससे जनता को लाभ होगा, उनके जीवन स्तर में सुधार होगा और कई प्रौद्योगिकी क्षेत्रों तक पहुंच प्रदान करके और राष्ट्रीय सुरक्षा, ऊर्जा, अंतरिक्ष अन्वेषण, संचार व रिमोट सेंसिंग, कौशल और प्रशिक्षण के लिए संसाधनों का इस्तेमाल करके उन्हें गरीबी से ऊपर उठाया जाएगा।

> नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी में अनुसंधान की एक अच्छी राष्ट्रीय योजना तैयार करके और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) के साथ प्रौद्योगिकी विकास एवं एडिटिव मैन्युफैक्चरिंग के संबद्ध क्षेत्रों को प्राथमिकता देकर, हमारा देश ज्ञान सृजन, प्रशिक्षित जनशक्ति और कई हाईटेक सेक्टर के लिए तैयार हो सकता है।

नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी में अनुसंधान की एक अच्छी राष्ट्रीय योजना तैयार करके और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) के साथ प्रौद्योगिकी विकास एवं एडिटिव मैन्युफैक्चरिंग के संबद्ध क्षेत्रों को प्राथमिकता देकर, हमारा देश ज्ञान सृजन, प्रशिक्षित जनशक्ति और कई हाईटेक सेक्टर के लिए तैयार हो सकता है। इस प्रकार, नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी के उपयोग की एक व्यवस्थित कार्य योजना तैयार करने, रोबोटिक्स, क्वांटम टेक्नोलॉजी के साथ इसके संयोजन और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) के एकीकरण से बड़ी तकनीकी सफलता मिलेगी, और और राष्ट्रीय मिशन के रूप में उनके दीर्घकालिक कार्यान्वयन से राष्ट्रीय उत्कृष्टता केंद्रों की स्थापना होगी। इससे ज्ञान इकोसिस्टम को बढ़ावा मिलेगा तथा विनिर्माण क्षेत्र आगे बढ़ेगा जिससे कई राष्ट्रीय लक्ष्य हासिल किए जा सकेंगे, और सरकार को वैश्विक भागीदारी हेतु अधिक विकल्प मिलेंगे और अंतरराष्ट्रीय स्तर पर खुद को अधिक मजबूत बनाने में मदद मिलेगी।

नैनोसाइंस और नैनोटेक्नोलॉजी के उपयोग की एक व्यवस्थित कार्य योजना तैयार करने, रोबोटिक्स, क्वांटम टेक्नोलॉजी के साथ इसके संयोजन और आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (एआई) के एकीकरण से बड़ी तकनीकी सफलता मिलेगी, और और राष्ट्रीय मिशन के रूप में उनके दीर्घकालिक कार्यान्वयन से राष्ट्रीय उत्कृष्टता केंद्रों की स्थापना होगी।

लेखकों के बारे में

शशि शेखर वेम्पति

प्रौद्योगिकीविद्, स्तंभकार, नीति विचारक और लेखक, शशि शेखर वेम्पति ने भारतीय प्रौद्योगिकी, मीडिया एवं सार्वजनिक नीति क्षेत्र में विभिन्न पदों पर काम किया है। वह वर्तमान में भारत सरकार के विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संचार की देखरेख करने वाली सलाहकार समिति के अध्यक्ष के रूप में कार्यरत हैं। वह प्रसार भारती के सीईओ (2017-2022), राज्यसभा टीवी के सीईओ (2017-2019), नीति डिजिटल के सीईओ (2014-2016), एशिया पैसिफिक ब्रॉडकास्ट यूनियन के उपाध्यक्ष (2021-2022), इंडियन ब्रॉडकास्टिंग एंड डिजिटल फाउंडेशन के उपाध्यक्ष (2019-2022), ब्रॉडकास्ट ऑडियंस रिसर्च काउंसिल ऑफ इंडिया के बोर्ड के सदस्य (2017-2022), भारतीय विश्वविद्यालय अनुदान आयोग (यूजीसी) में बाहरी विशेषज्ञ समूह के अध्यक्ष (2023), एजेके मास कम्युनिकेशन एंड मीडिया रिसर्च सेंटर (2023-2026) के बोर्ड के सदस्य, आईसीडब्ल्यूए परिषद के सदस्य हैं।

डॉ. भास्कर बालकृष्णन

डॉ. भास्कर बालाकृष्णन 1974-2007 तक राजनयिक रहे हैं और उन्होंने ग्रीस, क्यूबा, हैती तथा डोमिनिकन गणराज्य में भारत के राजदूत के रूप में कार्य किया है, और सूडान, सीरिया, जाम्बिया और ऑस्ट्रिया में भी काम किया है। उन्होंने जिनेवा और वियना में संयुक्त राष्ट्र के अलग-अलग संगठनों के साथ दस वर्षों से अधिक समय तक काम किया है, जिसमें यूएनआईडीओ के महानिदेशक के विशेष सहायक के रूप में तीन वर्ष का कार्य भी शामिल हैं।

उन्होंने विदेशी निवेश एवं प्रौद्योगिकी प्रवाह, आर्थिक सुधार, ऊर्जा एवं परिवहन को बढ़ावा देने से संबंधित विदेश मंत्रालय के निवेश प्रौद्योगिकी संवर्धन प्रभाग और मंत्रालय के संचार एवं सतर्कता प्रभाग का भी नेतृत्व किया। उन्होंने कई अंतर-मंत्रालयी निकायों जैसे विदेशी निवेश संवर्धन बोर्ड, जेनेटिक इंजीनियरिंग अनुमोदन समिति, बायोमेडिकल रिसर्च पर संचालन समिति और सूचना सुरक्षा कार्यबल में भी मंत्रालय का प्रतिनिधित्व किया है।

उन्होंने भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, खड़गपुर (बी.एससी ऑनर्स), दिल्ली विश्वविद्यालय (एम.एससी), और स्टोनीब्रुक विश्वविद्यालय, न्यूयॉर्क, यूएसए (भौतिकी में पीएचडी) में शिक्षा प्राप्त की थी। वो स्टोनीब्रुक विश्वविद्यालय और पंजाब विश्वविद्यालय, चंडीगढ़ में अध्यापक भी रहे हैं।

वह 2013-14 के दौरान राष्ट्रीय सुरक्षा सलाहकार बोर्ड के सदस्य रहे हैं। वह भारतीय विदेश सेवा संस्थान हेतु भारतीय और विदेशी राजनयिकों के लिए प्रशिक्षण पाठ्यक्रम संचालित करते रहे हैं, और कई राष्ट्रीय टेलीविजन कार्यक्रमों में विशेषज्ञ के रूप में भाग लिया है। वह जेएसएस विश्वविद्यालय, मैसूर में सहायक संकाय सदस्य हैं। वह वर्तमान में अनुसंधान एवं

सूचना प्रणाली (आरआईएस), नई दिल्ली (2018 से) में विज्ञान कूटनीति अध्येता हैं।

उन्होंने हाल ही में "प्रौद्योगिकी एवं अंतर्राष्ट्रीय संबंध - 21वीं सदी की चुनौतियां" नामक पुस्तक लिखी है। उनके बारे में अधिक जानकारी http://bbalakrishnan.atspace.cc और https: /www. linkedin.com/in/bhaskar-balakrishnan-8488723b/ पर उपलब्ध है।

प्रोफेसर परमेश्वर कृष्णन अय्यर

प्रोफेसर परमेश्वर कृष्णन अय्यर ने 1999 में सीएसआईआर-सीएसएमसीआरआई (केंद्रीय नमक एवं समुद्री रसायन अनुसंधान संस्थान), भावनगर, भारत से रसायन विज्ञान में पीएचडी किया है। उन्हें टेक्नियन, इज़राइल में लेडी डेविस एंड गोल्डस्मिथ फाउंडेशन पोस्ट-डॉक्टोरल फ़ेलोशिप (1999-2001), सांता बारबरा, यूएसए में कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय में ड्यूपॉन्ट पोस्ट-डॉक्टरल फ़ेलोशिप, (2001-2003), और केस वेस्टर्न रिज़र्व यूनिवर्सिटी, क्लीवलैंड, यूएसए में यूएस-आर्मी रिसर्च एसोसिएट फ़ेलोशिप, (2003-2004) से सम्मानित किया गया है। 2004 में, उन्होंने फैकल्टी के रुप में आईआईटी गुवाहाटी में पद संभाला, और वर्तमान में 2013 से रसायन विज्ञान विभाग एवं सेंटर फॉर नैनोटेक्नोलॉजी में प्रोफेसर हैं। उनके अनुसंधान के क्षेत्रों में कार्यात्मक सामग्रियों के डिजाइन और विकास तथा फोटोवोल्टिक्स, एलईडी, ट्रांजिस्टर, मेमोरी, सेंसर आधारित नैनोडिवाइस निर्माण एवं चिकित्सीय जैसे ऑप्टोइलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में उनके अनुप्रयोग शामिल हैं।

अनुसंधान एवं विकास में उनके योगदान हेतु उन्हें कई राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय पुरस्कारों से सम्मानित किया गया है, जिनमें रॉयल सोसाइटी ऑफ केमिस्ट्री के फेलो (क्षेत्र में अग्रणी), एमआरएसआई मेडल, सीआरएसआई कांस्य पदक, इंटरनेशनल एसोसिएशन ऑफ एडवांस्ड मैटेरियल्स साइंटिस्ट अवार्ड, आईएनएसए मेडल फॉर यंग साइटिस्ट इन केमिकल साइंसेज, मैक्स-प्लैंक इंडिया फेलोशिप आदि शामिल हैं।

प्रोफेसर अय्यर ने 35 पीएचडी छात्रों, कई स्नातकोत्तर एवं स्नातक छात्रों और पोस्टडॉक्टरल शोधकर्ताओं का मार्गदर्शन किया है। उनके नाम 240 से अधिक अंतर्राष्ट्रीय जर्नल प्रकाशन (प्रकृति सहित), 20 पुस्तकें/बुक चेप्टर, 40 पेटेंट हैं और वह एक बहुराष्ट्रीय स्टार्टअप कंपनी, दो राष्ट्रीय स्टार्ट-अप कंपनी में शामिल हैं और उन्होंने उद्योगों में कई तकनीकों को स्थानांतरित किया है। वह प्रतिष्ठित पत्रिकाओं एसीएस एप्लाइड बायो मैटेरियल्स, नेचर साइंटिफिक रिपोर्ट्स और फ्रंटियर्स इन मेडिकल टेक्नोलॉजी के सहयोगी संपादक हैं। वह

एसीएस सेंसर्स, सीसीएस केमिस्ट्री, एसीएस एप्लाइड नैनो मैटेरियल्स और आरएससी मटेरियल केमिस्ट्री फ्रंटियर्स के संपादकीय बोर्ड के सदस्य के रूप में भी कार्यरत हैं। वह विभिन्न राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय वैज्ञानिक और तकनीकी निकायों में विशेषज्ञ सदस्य, परिषद सदस्य और सलाहकार सदस्य के रूप में भी कार्य करते हैं। शिक्षण और अनुसंधान के प्रति उनको गहरा लगाव है और पूर्वोत्तर भारत के स्कूलों और कॉलेजों में एसटीईएम शिक्षा की गुणवत्ता बढ़ाने, प्रमुख कौशल पहल, उद्यमिता एवं कार्यकारी शिक्षा कार्यक्रमों में सक्रिय तौरपर हिस्सा लेते हैं।

वह जुलाई 2019 से आईआईटी गुवाहाटी में जनसंपर्क, ब्रांडिंग एवं रैंकिंग के संकायाध्यक्ष और दिसंबर 2022 से नवंबर 2023 तक आईआईटी गुवाहाटी में कार्यवाहक निदेशक के रूप में कार्यरत थे।

आईसीडब्ल्यूए के बारे में

भारतीय वैश्विक परिषद (आईसीडब्ल्यूए) की स्थापना 1943 में सर तेज बहादुर सप्रू और डॉ. एच.एन. कुंजरू के नेतृत्व में प्रख्यात बुद्धिजीवियों के एक समूह द्वारा की गई थी। इसका मुख्य उद्देश्य अंतरराष्ट्रीय संबंधों के संदर्भ में भारतीय परिप्रेक्ष्य का निर्माण करना और विदेश नीति के मुद्दों पर ज्ञान व चिंतन के संग्रहकर्ता के रूप में कार्य करना था। परिषद आज आंतरिक संकाय के साथ-साथ बाहरी विशेषज्ञों के माध्यम से नीति अनुसंधान आयोजित करती है। संस्था नियमित रूप से सम्मेलनों, संगोष्ठियों, गोलमेज चर्चाओं, व्याख्यानों सहित बौद्धिक गतिविधियां आयोजित करती है और कई प्रकार के प्रकाशन भी प्रकाशित करती है। संस्था पास अच्छे संग्रह वाला एक पुस्तकालय है और एक सक्रिय वेबसाइट है, और यह 'इंडिया क्वार्टर्ली' पत्रिका प्रकाशित करती है। अंतरराष्ट्रीय मुद्दों पर बेहतर ज्ञान को बढ़ावा देने तथा आपसी सहयोग के क्षेत्रों को विकसित करने हेतु आईसीडब्ल्यूए ने अंतरराष्ट्रीय थिंक टैंक और अनुसंधान संस्थानों के साथ 50 से अधिक समझौता ज्ञापन किए हैं। परिषद की भारत में अग्रणी अनुसंधान संस्थानों, थिंक टैंक और विश्वविद्यालयों के साथ भी साझेदारी है।

भारतीय वैश्विक परिषद

सप्रू हाउस, नई दिल्ली

www.icwa.in

ICWA_NewDelhi

Sapru.House

Indian Council of World Affairs