

इलेक्ट्रॉनिकी की समूची  
तस्वीर को बदल देगा

# ग्रेफीन



डॉ. कृष्ण कुमार मिश्र

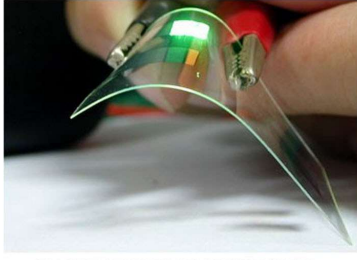


डॉ. कृष्ण कुमार मिश्र ने काशी हिन्दू विश्वविद्यालय से रसायन विज्ञान में पीएच-डी. की उपाधि प्राप्त की। आप टाटा मूलभूत अनुसंधान संस्थान मुंबई के होमी भाभा विज्ञान केन्द्र में एसोसिएट प्रोफेसर हैं। लोकप्रिय विज्ञान लेखक के रूप में आपकी अपार ख्याति है जोकि हिन्दी में आपके व्यापक लेखन से निर्मित हुई है। आपके 250 से अधिक लेख तथा 22 पुस्तकें प्रकाशित हैं। राजभाषा गौरव पुरस्कार, होमी जहाँगीर भाभा स्वर्ण पुरस्कार, शताब्दी सम्मान, राजभाषा भूषण पुरस्कार, इस्वा सम्मान सहित अनेक पुरस्कारों से सम्मानित डॉ. मिश्र मुंबई में निवास करते हैं।

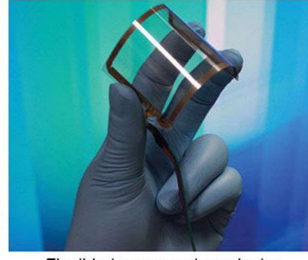
इक्कीसवीं सदी को ज्ञान की सदी कहा जाता है। इसमें वही व्यक्ति, समाज या राष्ट्र शक्तिशाली होगा जिसके पास ज्ञान होगा। ज्ञान के लिए सूचना का होना जरूरी है। ज्ञान-आधारित समाज के लिए आवश्यक है कि समाज के पास सूचनाओं का भंडार हो। सूचनाओं के आदान-प्रदान के लिए माध्यम जरूरी हैं। इसीलिए विगत दो दशकों से दुनिया में सूचना तथा संचार प्रौद्योगिकी पर इतना जोर है। भारत ने इस क्षेत्र में आशातीत सफलता पायी है। संचार माध्यमों की पहुँच आज देश के दूर-दराज तक हो चुकी है। कोई खबर पल भर में करोड़ों लोगों तक पहुँच जाती है। सोशल मीडिया के जरिए हम सूचनाओं का परस्पर लेनदेन कर रहे हैं। समूची दुनिया मानो एक विश्वग्राम बन गयी है। भारत ने सूचना तथा संचार के क्षेत्र में एक अहम पहचान बनायी है। पूरी दुनिया आज इस बात को स्वीकार करती है कि भारत के पास बहुत सक्षम तथा कुशल मानवशक्ति मौजूद है।

सूचना तथा संचार की दुनिया आज एक और क्रांति की दहलीज पर खड़ी है। वह ग्रेफीन नामक रथ पर सवार होकर तेजी से आगे बढ़ रही है। ग्रेफीन की खोज हुए कुल जमा 8 साल ही हुए हैं। वर्ष 2010 में ग्रेफीन की खोज के लिए दो विज्ञानियों को नोबेल पुरस्कार देने की घोषणा हुई थी। तभी से इस पदार्थ पर विश्व भर में शोध तथा विकास का काम चल रहा है। यह सचमुच कमाल का पदार्थ है। वर्ष 2010 की नोबेल कमेटी ने ब्रिटेन स्थित मैनचेस्टर विश्वविद्यालय के आंद्रे जीम तथा कांस्टेन्टिन नोवोसेलोव को ग्रेफीन की महत्वपूर्ण खोज के लिए वर्ष 2010 का भौतिक विज्ञान का नोबेल पुरस्कार देने की घोषणा की थी। ये वैज्ञानिकद्वय आपस में गुरु-शिष्य हैं। दोनों का जन्म रूस में हुआ है। दोनों ने नीदरलैण्ड में काम किया है जहां नोवोसेलोव ने जीम महोदय की देखरेख में अपना पीएच-डी. शोधकार्य पूरा किया। बाद में वे दोनों ब्रिटेन के प्रतिष्ठित मैनचेस्टर विश्वविद्यालय में आ गए जो भौतिकी विषय में शोध के लिए विख्यात है। एक बात जो बहुत मायने रखती है वह यह है कि नोवोसेलोव वर्ष 1973 के बाद नोबेल पुरस्कार पाने वालों की सूची में सबसे युवा विज्ञानी हैं।

दरअसल ग्रेफीन, प्रकृति में प्रचुर मात्रा में मिलने वाले कार्बनरूपी तत्व का ही एक रूप है। जैसा कि हम जानते हैं, धरती पर जीवन कार्बन पर आधारित है। सभी जीव-जन्तु कार्बन से बने हैं। मानव शरीर में तकरीबन 18 प्रतिशत कार्बन होता है। जीवन की उत्पत्ति ही नहीं, वरन् जैविक प्रक्रियाओं के संचालन में भी कार्बन की अहम भूमिका होती है। कार्बन के इस नये रूप की खोज की एक रोचक घटना है। वर्ष 2004 में ये दोनों विज्ञानी ग्रेफाइट के ब्लॉक पर टेप चिपकाकर बार-बार उससे परतें उतारते थे। इसी प्रक्रिया में उन्हें कुछ ऐसी परतें मिली जो मोटाई में महज एक परमाणु की थी। अध्ययन से पाया गया कि इन पतली परतों के गुण बहुत ही अद्भुत हैं। ये परतें करीब-करीब पारदर्शी, प्रत्यास्थ, तथा मजबूती में फौलाद को भी मात देने वाली थीं। ये परतें इलेक्ट्रॉनिक सामग्रियों के निर्माण के लिए उत्तम सामग्री बनने की काबिलियत रखती हैं। ग्रेफीन कार्बन परमाणुओं से बनी एक समतल तथा सपाट परत है। देखने में यह परत मधुमक्खी के छत्ते जैसी नज़र आती है। ग्रेफीन रासायनिक तौर पर बहुत सरल है लेकिन गुणधर्मों में अविश्वसनीय तौर पर बहुत ही मजबूत



Flexible organic light emitting diode



Flexible transparent conductor with graphene



Flexible concept phone named "Morph" from Nokia

ग्रेफीन की असली खूबी यह है कि वह बिजली का सुचालक है। यह सौर बैटरियों, एल.ई.डी. की क्षमताओं के सुधार में बहुत कारगर साबित होगा। इससे नयी पीढ़ी के टचस्क्रीन, फोटोडिटेक्टर तथा अल्ट्राफास्ट लेजर के निर्माण में मदद मिलेगी। सबसे बढ़िया बात यह होगी कि प्लैटिनम तथा इरीडियम जैसी महंगी धातुओं का एक अच्छा विकल्प ग्रेफीन के रूप में मिल जाएगा। इससे इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों तथा युक्तियों की कीमतों में कमी आ सकेगी।

है। यह स्टील से करीब 200 गुना मजबूत, हीरे से भी कहीं ज्यादा कठोर एवं ताँबे से भी बेहतर विद्युत का सुचालक है।

प्रकृति में कार्बन के तीन अपररूप पाए जाते हैं जो विशुद्ध माने जाते हैं। ये हैं; हीरा, ग्रेफाइट तथा फुलरीन। हीरा को सृष्टि का कठोरतम पदार्थ माना जाता है। यह ऊष्मा का सुचालक तथा विद्युत का कुचालक होता है। ग्रेफाइट, कार्बन का दूसरा शुद्ध रूप है जो नरम होता है तथा विद्युत का सुचालक होता है। पेंसिल की लेड वास्तव में ग्रेफाइट है। जब हम कागज पर लिखते हैं तो कागज की सतह पर धर्षण के कारण ग्रेफाइट की परत उतरती जाती है। इससे कागज पर लकीर बन जाती है और लिखना संभव हो पाता है। यह परत वास्तव में हजारों परमाणुओं की मोटाई वाली परत होती है। लेकिन यदि किसी विधि से हम एक परमाणु की मोटाई वाली परत हासिल कर लें तो वही ग्रेफीन होगी। फिसलनदार होने के कारण ग्रेफाइट का इस्तेमाल स्नेहक (ल्यूब्रिकेन्ट) के तौर पर भी होता है। हीरा तथा ग्रेफाइट, ये दोनों हमें काफी दिनों से ज्ञात थे। वर्ष 1985 में शोधकर्ताओं को कार्बन की गेंदनुमा संरचनाओं का पता चला जिसे उन्होंने बक्रीबॉल कहा। इसके खोजकर्ता थे बकमिस्टर फुलर। ये फुटबाल जैसी खोखली संरचनाएं होती हैं जिनमें कार्बन षट्कोणीय तथा पंचकोणीय ज्यामितियों में आपसे में जुड़े होते हैं। नब्बे के दशक के शुरू में विज्ञानियों को कार्बन की बहुत ही छोटी-छोटी नलिकाओं का पता चला, जिन्हें कार्बन नैनोट्यूब कहा गया। ये भी विशुद्ध

कार्बन होती हैं।

ग्रेफीन का नाम वास्तव में ग्रेफाइट से निकला है। ग्रेफीन इकहरे परमाणु की मोटाई वाली समतल परत है। हम यून कह सकते हैं कि ग्रेफाइट, अनेक ग्रेफीन परतों के एक के ऊपर एक तह किए जाने से बनता है। किसी 1 मिलीमीटर मोटी ग्रेफाइट की शीट में करीब तीस लाख ग्रेफीन की परतें होंगी। ग्रेफीन एक अर्धधातु (सेमीमेटल) तथा अर्द्धचालक (सेमीकंडक्टर) है। ग्रेफीन ने इलेक्ट्रॉनिक्स के क्षेत्र में अनन्त संभावनाओं के द्वार खोल दिए हैं। कंप्यूटर में इस्तेमाल होने वाली सिलिकान चिप का प्रयोग आज तकरीबन उनकी सामर्थ्य के करीब उच्चतम स्तर पर पहुंच चुका है। ऐसे में उनकी रफ्तार बढ़ाने की गुंजाइश बहुत ज्यादा नहीं है। लेकिन जैसा कि इलेक्ट्रॉनिक्स का सर्वमान्य सिद्धान्त है कि, "युक्ति का आकार चाहे जो हो, उसे छोटा कीजिए, स्पीड चाहे जो हो, उसे और बढ़ाइए, तथा कीमत चाहे जो हो, उसे और कम कीजिए"। इस कसौटी पर ग्रेफीन की खोज ने इलेक्ट्रॉनिक युक्तियों के करिश्माई विकास का मार्ग प्रशस्त कर दिया है।

ग्रेफीन के इलेक्ट्रान, सिलिकान की तुलना में 100 से 2000 गुना ज्यादा रफ्तार से गतिमान होते हैं। इससे भविष्य में बनने वाले कम्प्यूटर कई गुना अधिक क्षमता तथा स्पीड के होंगे। ऐसा माना जा रहा है कि ग्रेफीन के आगमन से आने वाले कई दशकों के लिए कम्प्यूटर प्रौद्योगिकी में तरक्की का रास्ता साफ हो गया है। इससे कम्प्यूटर आकार-प्रकार में उत्तरोत्तर छोटे होते जाएंगे तथा उनकी क्षमता

बढ़ती जाएगी। आई.बी.एम. तथा इंटेल जैसी बड़ी तथा नामी कंपनियों ने अभी से इस दिशा में भारी निवेश किया है। ग्रेफीन के ट्रांजिस्टर बहुत ज्यादा स्पीड पर चलेंगे, तथा कहीं अधिक तापमान पर भी काम करते रह सकेंगे। सौर बैटरियों, लाइट पैनलों तथा टच स्क्रीन के लिए ग्रेफीन ज्यादा युक्तिसंगत होंगे। उपग्रहों, हवाई जहाजों तथा कारों में कंपोजिट मैटीरियल के तौर पर ग्रेफीन का उपयोग हो सकेगा। रक्षा के क्षेत्र में उन्नत किस्म के साजोसामान बनाने में ग्रेफीन बहुत मददगार साबित होगा। चूंकि ग्रेफीन द्विआयामी संरचना है इसलिए सिलिकान की तुलना में इससे कहीं ज्यादा सूक्ष्म चिप बनाना संभव हो सकेगा।

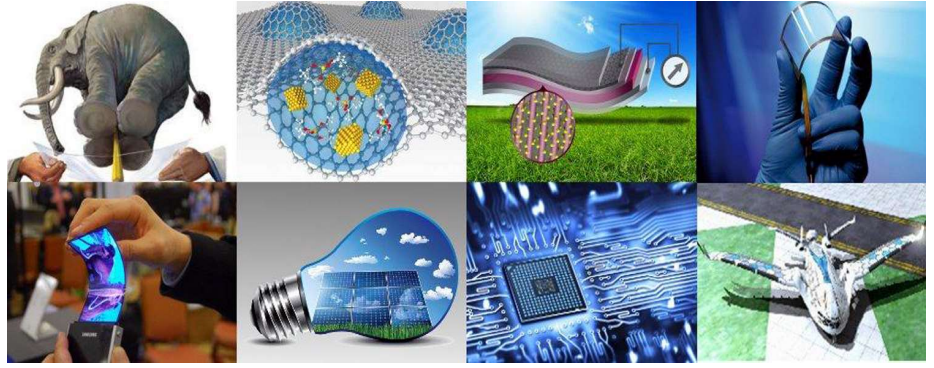
इलेक्ट्रॉनिकी में कार्यरत विज्ञानी नानशिलन ताओ के अनुसार ग्रेफीन आधारित रासायनिक सेंसरों का प्रयोग एयरपोर्ट तथा रेल स्टेशनों जैसी जगहों पर सामानों में छिपाकर रखे गए विस्फोटकों का पता लगाने में बखूबी किया जा सकता है। सन् 2008 में अमेरिका स्थित कोलंबिया विश्वविद्यालय के वैज्ञानिकों ने अभियांत्रिक प्रयोगों से यह साबित कर दिया है कि ग्रेफीन दुनिया का सबसे मजबूत पदार्थ है। इसकी मजबूती का अंदाजा इस बात से लगाया जा सकता है कि महज एक सेलोफिन पेपर जितनी मोटी ग्रेफीन की शीट से डेढ़ टन वजनी कार उठायी जा सकती है। इसकी मजबूती का प्रयोग कम्पोजिट पदार्थ बनाने में किया जा सकता है जिससे हवाई जहाज से लेकर खेलकूद के सामान बनाये जा सकते हैं। कंपोजिट पदार्थों के इस्तेमाल से हवाई जहाज का वजन वाकई घटाकर आधा किया जा सकता है। इससे वह उड़ान में किफायती होगा, तथा ईंधन की बचत होगी। इस प्रकार वायुमंडल में कार्बन का उत्सर्जन कम होगा तथा ग्रीनहाउस प्रभाव के रोकथाम में सहायता मिलेगी क्योंकि दुनिया भर में हवाई यात्रा का चलन तेजी से बढ़ रहा है।

वैज्ञानिकों को ग्रेफीन के कई दूसरे इस्तेमाल की संभावनाएँ भी नज़र आ रही हैं। अमेरिका के टेक्सास विश्वविद्यालय में विद्युत संग्रह तथा प्रेषण के लिए ग्रेफीन एनर्जी नामक युक्ति का प्रयोग किया जा रहा है। इसमें ग्रेफीन से बने अल्ट्राकैपिसिटर का इस्तेमाल किया गया है। यह ऐसी युक्ति है जो कम अवधि में विद्युत की काफ़ी मात्रा की आपूर्ति कर सकती है। इसका इस्तेमाल विद्युत ग्रिडों को स्थायित्व प्रदान



करने के लिए भी किया जा सकता है। अक्सर देखा जाता है कि दिन में बिजली की मांग ज्यादा रहती है जिससे बिजलीघरों को उच्च क्षमता पर काम करना पड़ता है। लेकिन रात में मांग गिर जाती है जिससे बिजली का पूरा इस्तेमाल नहीं हो पाता। इन अल्ट्राकैपेसिटर्स से अतिरिक्त बिजली को संग्रहीत किया जा सकता है तथा दिन में उसका समुचित पारेषण किया जा सकता है। ग्रेफीन का उपयोग बूलेटप्रूफ कवच बनाने में भी किया जा सकता है। ग्रेफीन की परतों को परस्पर मिलाकर हीरे से भी ज्यादा कठोर संरचना बनाई जा सकती है, जिसका उपयोग सैनिकों के लिए बूलेटप्रूफ जैकेट बनाने में किया जा सकता है। ग्रेफीन का इस्तेमाल कारों की बैटरियों की ताकत बढ़ाने तथा उनका जीवनकाल बढ़ाने में किया जा सकता है। कैंब्रिज विश्वविद्यालय के शोधकर्ताओं का मानना है कि ग्रेफीन की असली खूबी यह है कि वह बिजली का सुचालक है। यह सौर बैटरियों, एल.ई.डी. की क्षमताओं के सुधार में बहुत कारगर साबित होगा। इससे नयी पीढ़ी के टचस्क्रीन, फोटोडिटेक्टर तथा अल्ट्राफास्ट लेजर के निर्माण में मदद मिलेगी। सबसे बढ़िया बात यह होगी कि प्लैटिनम तथा इरीडियम जैसी महंगी धातुओं का एक अच्छा विकल्प ग्रेफीन के रूप में मिल जाएगा। इससे इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों तथा युक्तियों की कीमतों में कमी आ सकेगी।

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी में शोध कर रहे पोहंग विश्वविद्यालय के अन्वेषकों ने अवकृत ग्रेफीन ऑक्साइड आधारित एक नए प्रकार का मैग्नेटाइट सम्मिश्र तैयार किया है। यह संकर पदार्थ जो कमरे के ताप पर परम अनुचुंबकीय होता है, जल के नमूने से 99.9 फीसदी आर्सेनिक को दूर कर सकता है। मैग्नेटाइट की तुलना में यह नया सम्मिश्र आर्सेनिक हटाने के लिए बेहतर है क्योंकि मैग्नेटाइट कणों के बीच-बीच में ग्रेफीन की परतों की उपस्थिति से आर्सेनिक अवशोषक स्थलों की संख्या बढ़ जाती है। अवकृत ग्रेफीन ऑक्साइड के कारण मैग्नेटाइट भी अधिक स्थाई हो जाता है, जिससे यह सतत् प्रवाह प्रणालियों में भी अधिक लंबे समय के लिए उपयोग में लाया जा सकता है। शोधकर्ताओं की एक टीम ने पता लगाया है कि ग्रेफीन से बने सेंसर में जैविक तथा रासायनिक अणुओं को



ग्रेफीन दुनिया का सबसे मज़बूत पदार्थ है। प्लास्टिक की पन्नी जितनी मोटी ग्रेफीन की झिल्ली एक सामान्य कार जितना वजन उठा सकती है। ग्रेफीन की बेजोड़ मज़बूती का इस्तेमाल मिश्रित पदार्थ बनाने के लिये भी किया जा सकता है। ग्रेफीन मिलाए जाने के बाद बने कंपोजिट मैटीरियल का इस्तेमाल मज़बूत और हल्के उत्पाद तैयार करने में किया जा सकता है। इनमें विमान से लेकर टेनिस के रैकेट तक शामिल हैं। ग्रेफीन सामान्य तापमान पर दूसरे पदार्थों की तुलना में इलेक्ट्रॉन का संचार बेहतर ढंग से कर सकता है।

पहचानने की अद्भुत क्षमता होती है। शोधकर्ता वांगयांग फू के अनुसार, “ग्रेफीन टोस-अवस्था में पाए जाने वाले सभी पदार्थों में अद्वितीय है क्योंकि इसके सभी कार्बन परमाणु इसकी सतह पर स्थित होते हैं जो इसकी सतह को वातावरण में होने वाले बदलाव की पहचान करने के लिए संवेदनशील बनाते हैं।”

ग्रेफीन दुनिया का सबसे मज़बूत पदार्थ है। प्लास्टिक की पन्नी जितनी मोटी ग्रेफीन की झिल्ली एक सामान्य कार जितना वजन उठा सकती है। ग्रेफीन की बेजोड़ मज़बूती का इस्तेमाल मिश्रित पदार्थ बनाने के लिये भी किया जा सकता है। ग्रेफीन मिलाए जाने के बाद बने कंपोजिट मैटीरियल का इस्तेमाल मज़बूत और हल्के उत्पाद तैयार करने में किया जा सकता है। इनमें विमान से लेकर टेनिस के रैकेट तक शामिल हैं। ग्रेफीन सामान्य तापमान पर दूसरे पदार्थों की तुलना में इलेक्ट्रॉन का संचार बेहतर ढंग से कर सकता है। वैज्ञानिकों को ग्रेफीन का इस्तेमाल कर तेज़ रफ्तार वाले ट्रांजिस्टर बनाने में कामयाबी मिल चुकी है। ऐसा ट्रांजिस्टर वायरलेस कम्युनिकेशन में एक साथ तीन अलग-अलग ट्रांजिस्टरों का काम कर सकता है। इससे स्मार्ट फोन जैसे उपकरणों की क्षमता बढ़ जाएगी। ग्रेफीन की एक विशेषता यह है कि वह किसी रासायनिक अभिक्रिया को इलेक्ट्रॉनिक सिग्नल में बदल सकता है। आज बोइंग-787 विमान का 50 फीसदी ढाँचा कार्बन फाइबर कंपोजिट

से बनाया जाता है। इससे विमान ज्यादा हल्का होने के साथ-साथ ईंधन की खपत में किफायती होता है। अब ग्रेफीन के इस्तेमाल से और भी ज्यादा हल्के तथा मज़बूत कार्बन फाइबर वाले कंपोजिट बनाए जा सकते हैं। इससे ज्यादा हल्के तथा मज़बूत विमान बन सकेंगे जिनमें ईंधन कम लगेगा तथा वायुमंडल में कार्बन का उत्सर्जन भी कम होगा।

टेक्सास विश्वविद्यालय के प्रोफेसर रॉडनी रुओफ ने ग्रेफीन के बड़े टुकड़े तैयार करने के लिए केमिकल पेपर विधि विकसित की है। वे मीथेन (जिसमें कार्बन का एक ही परमाणु होता है) को हाइड्रोजन के साथ 1040°C पर गर्म करते हैं और उनके रसायनों को एक कॉपर शीट के साथ अभिक्रिया करने के लिए छोड़ देते हैं। इस तरीके से ग्रेफीन की परत बनती है। ग्रेफीन के औद्योगिक उत्पादन के लिए यह अच्छा तरीका है। ग्रेफीन पर आधारित व्यापक उत्पादों के लिए हमें थोड़ा और इंतजार करना पड़ेगा क्योंकि इसके तमाम तकनीकी पहलू हैं जिनमें कुशलता तथा पूरी दक्षता हासिल करने में अभी समय लग सकता है। लेकिन एक बात तो तय है कि आने वाले दिनों में इलेक्ट्रॉनिकी की समूची तस्वीर ही बदल जाएगी तथा सूचना और संचार प्रौद्योगिकी का एक नया दौर चलेगा जो ग्रेफीन का होगा।

vigyan.lekhak@gmail.com