द्विआयामी चुंबकीय पदार्थ की बड़ी फिल्म: आईआईएससी की वाष्प निक्षेपण विधि

विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | शोध की तारीख: 29 मार्च 2026 | प्रकाशित: 24 अक्टूबर 2026

खबरों में क्यों

भारतीय विज्ञान संस्थान और सहयोगियों ने द्विआयामी चुंबकीय पदार्थ क्रोमियम क्लोराइड की बड़ी तथा सुव्यवस्थित फिल्म उगाने की विधि प्रस्तुत की है। अध्ययन एडवांस्ड मैटेरियल्स में प्रकाशित हुआ। क्रॉसरेफ अभिलेख के अनुसार ऑनलाइन प्रकाशन 29 मार्च 2026 है। आईआईएससी की 16 अप्रैल की समाचार व्याख्या तथा कर्नेल पत्रिका का मई का विवरण इस प्रकाशन से अलग हैं। सार्वजनिक पूर्वप्रकाशन मई 2025 में उपलब्ध हुआ था।

सामग्री निर्माण की उपलब्धि, तैयार चुंबकीय चिप नहीं

क्रोमियम क्लोराइड की सेंटीमीटर-पैमाने की फिल्म उगाने वाला अध्ययन दिखाता है कि नई सामग्री बनाने में रासायनिक संघटन के साथ प्रकाश, गैस प्रवाह और आधार सतह का नियंत्रण भी निर्णायक हो सकता है। यह सामग्री निर्माण की उपलब्धि है, तैयार कमरे के तापमान वाली चुंबकीय चिप का प्रदर्शन नहीं।

अक्षय सिंह के समूह में विवेक कुमार, अभिषेक जांगिड़ और सहयोगियों ने भौतिक वाष्प परिवहन निक्षेपण की परिस्थितियां बदलीं। इससे अभ्रक की उपयुक्त सतह पर सेंटीमीटर-पैमाने तक फिल्म बन सकी। कार्य का महत्व एक छोटे अलग-थलग टुकड़े में गुण देखने से आगे बढ़कर ऐसी सामग्री को बड़े क्षेत्र में नियंत्रित ढंग से तैयार करने में है। हालांकि बड़े क्षेत्र की फिल्म बनना अपने आप औद्योगिक उत्पादन लाइन तैयार हो जाने का प्रमाण नहीं है।

द्विआयामी पदार्थ का अर्थ

द्विआयामी पदार्थ बहुत पतली परतों में विशेष भौतिक गुण दिखाते हैं। यहां द्विआयामी का अर्थ ऐसी गणितीय सतह नहीं, जिसकी मोटाई शून्य हो। परमाणु स्तर पर पतली परतों में इलेक्ट्रॉनों और परमाणुओं का व्यवहार मोटे पदार्थ से अलग हो सकता है। चुंबकीय सामग्री में परतों की संख्या और उनके बीच संपर्क से चुंबकीय व्यवस्था भी प्रभावित हो सकती है।

क्रोमियम क्लोराइड एक परतदार चुंबकीय अर्धचालक है। अध्ययन के सार्वजनिक संस्करण में एक परत के भीतर चुंबकीय क्रम और अलग परतों के बीच विपरीत चुंबकीय संपर्क का वर्णन है। इसलिए इसे बिना शर्त साधारण स्थायी चुंबक की तरह समझना उचित नहीं। चुंबकीय गुण किन तापमानों, बाहरी क्षेत्रों और परत-संरचनाओं में मिलते हैं, यह जांचना जरूरी है। सामान्य वर्ग की विशेषता और इस प्रयोग में बनी फिल्म का प्रदर्शन अलग-अलग बातें हैं।

PCSMANTRA.COM

छोटे टुकड़ों से बड़ी फिल्म तक की चुनौती

परतदार पदार्थ से यांत्रिक तरीके से पतले टुकड़े अलग करना मूलभूत शोध में उपयोगी होता है। लेकिन हर बार अलग आकार, मोटाई और स्थिति वाले छोटे टुकड़े किसी बड़े उपकरण मंच में व्यवस्थित करना कठिन है। इलेक्ट्रॉनिक उपयोग के लिए बड़े क्षेत्र में सामग्री उगाना और उसका दोहराने योग्य नियंत्रण महत्वपूर्ण होता है।

सिर्फ क्षेत्रफल बढ़ाना भी पर्याप्त नहीं है। फिल्म छोटे क्रिस्टलीय क्षेत्रों से बन सकती है, जिनके बीच सीमाएं होती हैं। यदि उनके अभिविन्यास बहुत अलग हों, तो पदार्थ का व्यवहार प्रभावित हो सकता है। इसलिए अध्ययन बड़े क्रिस्टलीय क्षेत्रों, उनके बेहतर संरेखण और आपस में जुड़ी फिल्म पर ध्यान देता है। वेफर-पैमाने का दावा यहां सेंटीमीटर-पैमाने का है। इसे व्यावसायिक बड़े सिलिकॉन वेफर पर पूरी तरह तैयार उत्पादन प्रक्रिया नहीं कहना चाहिए।

वाष्प परिवहन निक्षेपण कैसे काम करता है

इस विधि में स्रोत पदार्थ को गर्म करके उसकी वाष्प बनाई जाती है। वाहक गैस इस सामग्री को दूसरी सतह तक पहुंचाती है, जहां वह जमकर फिल्म बनाती है। जिस सतह पर पदार्थ उगता है, उसे आधार सतह या सब्सट्रेट कहते हैं। स्रोत की आपूर्ति, सतह का तापमान और गैस प्रवाह यह तय करने में मदद करते हैं कि सामग्री कहां तथा किस संरचना में जमेगी।

शोधकर्ताओं ने केवल नया स्रोत पदार्थ नहीं चुना। उन्होंने अनचाहे विकिरणीय प्रभाव घटाए, वाहक गैस का प्रवाह बढ़ाया, स्रोत की आपूर्ति नियंत्रित की तथा ऑक्सीजन और नमी को हटाने पर जोर दिया। ये बदलाव एक साथ नियंत्रित निर्माण प्रक्रिया का हिस्सा थे। किसी एक सरल बदलाव को अकेला सार्वभौमिक नुस्खा मानना पूरे अध्ययन को अधूरा समझना होगा। इसकी सफलता विशेष उपकरण, सामग्री और वातावरण के संदर्भ में है।

प्रकाश और हवा का नियंत्रण क्यों जरूरी था

संवेदनशील पदार्थ के लिए भट्ठी केवल गर्मी देने वाला उपकरण नहीं है। उससे आने वाला विकिरण भी सतह की प्रक्रियाओं को प्रभावित कर सकता है। संस्थागत विवरण के अनुसार शोधकर्ताओं ने सतह के कटने जैसी समस्या को भट्ठी के प्रतिरोधी तापकों से आने वाले विकिरण से जोड़ा। ट्यूब को एल्युमिनियम पन्नी से ढकना नियंत्रित व्यवस्था में उपयोगी उपाय बना।

ऑक्सीजन और नमी भी बनी हुई सामग्री को नुकसान पहुंचा सकती हैं। इसलिए गैस की शुद्धता, छनाई और रिसाव रोकना प्रक्रिया के महत्वपूर्ण भाग थे। इस उदाहरण का संदेश यह नहीं कि हर सामग्री को अंधेरे में उगाना चाहिए। संदेश यह है कि निर्माण के दौरान अनचाहे पर्यावरणीय प्रभावों को पहचानकर अलग-अलग नियंत्रित करना पड़ता है। सस्ती दिखने वाली व्यवस्था भी उपयोगी हो सकती है, लेकिन उसका परिणाम व्यवस्थित परीक्षण से ही तय होगा।

अभ्रक की सतह ने क्या मदद की

शोध में सिलिकॉन डाइऑक्साइड, नीलम और कृत्रिम अभ्रक जैसी आधार सतहों की तुलना की गई। उपयुक्त अभ्रक पर बेहतर संरेखित क्रिस्टलीय क्षेत्र और जुड़ी फिल्म मिली। परतदार अभ्रक की सतह क्रोमियम क्लोराइड के उगने के लिए अनुकूल व्यवस्था देती है। सामग्री के परमाणुओं का सतह पर फैलना और सही ढंग से जुड़ना अंतिम फिल्म की संरचना से संबंधित है।

प्रयोगों के साथ घनत्व फलन सिद्धांत तथा मशीन-लर्निंग आधारित परमाणु अनुकरणों का उपयोग हुआ। इनसे यह व्याख्या मिली कि अभ्रक पर प्रसरण और क्रमबद्ध शृंखला बनना अनुकूल क्यों हो सकता है। ये गणनाएं वास्तविक फिल्म निर्माण का स्थानापन्न नहीं थीं; वे देखे गए अंतर का तंत्र समझने में मदद करती हैं। किसी अनुकरण से मिली व्याख्या को हर संभावित आधार सतह पर पहले से सिद्ध परिणाम नहीं मानना चाहिए।

PCSMANTRA.COM

फिल्म के गुण कैसे जांचे गए

लेखकों ने प्रकाशीय, रासायनिक, संरचनात्मक और चुंबकीय मापों से बनी सामग्री की पहचान की। सार्वजनिक शोध संस्करण में सतह तापमान बदलकर कुछ परतों से लेकर कई दसियों नैनोमीटर तक मोटाई नियंत्रित करने का वर्णन है। चुने हुए क्षेत्रों में वृद्धि और फिल्म को दूसरी सतह पर स्थानांतरित करना भी दिखाया गया। उपकरणों में जोड़ने की दिशा में ये उपयोगी कदम हैं।

लेकिन चुंबकीय परिणाम को सावधानी से पढ़ना चाहिए। सार्वजनिक संस्करण में कम तापमान पर अपेक्षित चुंबकीय व्यवहार की जांच है, जिसमें लगभग 14 केल्विन के आसपास विशेष परिवर्तन दिखता है। यह कमरे के तापमान पर उपयोगी चुंबकीय स्मृति सिद्ध करने वाला परिणाम नहीं है। इसी तरह बड़े क्षेत्र की फिल्म बनने का अर्थ पूरे क्षेत्र में केवल एक ही दोषरहित क्रिस्टल होना नहीं है। गुणवत्ता, अभिविन्यास और सीमाओं का अलग मूल्यांकन जरूरी है।

स्पिनट्रॉनिक्स और भारत के लिए महत्व

स्पिनट्रॉनिक्स इलेक्ट्रॉन के आवेश के साथ उसके स्पिन से जुड़ी विशेषताओं का उपयोग करने की दिशा है। द्विआयामी चुंबकीय पदार्थ संवेदकों, परतदार संकर संरचनाओं और नई इलेक्ट्रॉनिक अवधारणाओं के अध्ययन में उपयोगी हो सकते हैं। इस शोध की भूमिका ऐसे उपकरणों के लिए सामग्री तैयार करने की बाधा कम करना है। इसने कोई व्यावसायिक हार्ड ड्राइव या अधिक तेज कंप्यूटर बेचने योग्य रूप में प्रदर्शित नहीं किया।

भारत के लिए यह उदाहरण पदार्थ विज्ञान, उपकरण डिजाइन और गणनात्मक अध्ययन को साथ लाने का महत्व दिखाता है। निर्माण प्रक्रिया में बदलाव और स्थानीय समस्या का समाधान भी वैज्ञानिक योगदान हो सकता है। फिर भी किसी मौजूदा राष्ट्रीय उत्पादन क्षमता, लागत में निश्चित बचत या वैश्विक बाजार हिस्सेदारी का निष्कर्ष इस अकेले अध्ययन से नहीं निकलता। प्रयोगशाला की प्रक्रिया और भरोसेमंद उत्पादन के बीच परीक्षण की कई कड़ियां हैं।

मुख्य परीक्षा में विश्लेषण की दिशा

उत्तर में समस्या को छोटे टुकड़ों की उपलब्धता से आगे बढ़कर एकरूप और नियंत्रित सामग्री निर्माण की चुनौती के रूप में रखें। वैज्ञानिक हस्तक्षेप वाष्प निक्षेपण में प्रकाश, गैस प्रवाह, स्रोत आपूर्ति और शुद्धता का संयुक्त नियंत्रण है। परिणाम सेंटीमीटर-पैमाने की फिल्म, मोटाई नियंत्रण तथा स्थानांतरण है। अनुप्रयोग स्पिनट्रॉनिक्स की संभावना है, तुरंत तैयार उत्पाद नहीं।

इस उदाहरण से अनुसंधान और निर्माण के बीच संबंध समझाया जा सकता है। कोई पदार्थ अपने विशेष गुण के कारण आकर्षक हो सकता है, लेकिन उसे उपयोगी आकार में विश्वसनीय ढंग से बनाना अलग चुनौती है। मुख्य परीक्षा में मूलभूत विज्ञान तथा औद्योगिक नवाचार के बीच यही कड़ी दिखाना उपयोगी होगा। साथ ही कम तापमान के चुंबकीय माप और सामान्य कामकाजी वातावरण में उपकरण के प्रदर्शन का अंतर स्पष्ट रहना चाहिए।

आगे क्या देखना होगा?

आगे बड़े क्षेत्रों में मोटाई, संरचना और चुंबकीय गुणों की एकरूपता जांचनी होगी। दूसरी सामग्री के साथ जोड़ने, स्थानांतरण के दौरान क्षति रोकने और संवेदनशील फिल्म को वातावरण से बचाने की जरूरत भी महत्वपूर्ण है। किसी विशेष उपकरण में उपयोग के लिए उसका काम करने वाला तापमान, आयु और दोहराए जाने वाले प्रदर्शन का परीक्षण आवश्यक होगा।

PCSMANTRA.COM

दूसरे संवेदनशील पदार्थों पर यह प्रक्रिया कितनी लागू होती है, यह भी सामग्री-विशेष प्रश्न है। संभावना को पहले से सिद्ध सार्वभौमिक विधि नहीं मानना चाहिए। फिलहाल उपलब्धि नियंत्रित वाष्प प्रक्रिया से द्विआयामी चुंबकीय क्रोमियम क्लोराइड की बड़ी और व्यवस्थित फिल्म बनाना है। यह सामग्री मंच तैयार करने की प्रगति है, कमरे के तापमान वाले चुंबकीय उपकरणों या बड़े पैमाने के उत्पादन की अंतिम घोषणा नहीं।

अभ्यास प्रश्न: द्विआयामी चुंबकीय पदार्थों को छोटे टुकड़ों से बड़े क्षेत्र की फिल्म तक ले जाने में निर्माण प्रक्रिया का नियंत्रण क्यों महत्वपूर्ण है? क्रोमियम क्लोराइड के उदाहरण से उपलब्धि और अनुप्रयोग की सीमाएं स्पष्ट कीजिए। (250 शब्द)

स्रोत: प्रकाशन तिथि का अभिलेख। सार्वजनिक शोध संस्करण। आईआईएससी विवरण।