ठोस-अवस्था बैटरियों में डेंड्राइट: छोटे क्रिस्टलों की सीमाएं क्यों महत्वपूर्ण हैं?

ऊर्जा भंडारण और बैटरी प्रौद्योगिकी (मुख्य परीक्षा: सामान्य अध्ययन-III) | समाचार संदर्भ: 6 जुलाई 2026 (एमआईटी समाचार; शोधपत्र ऑनलाइन 6 जुलाई 2026) | प्रकाशित: 23 अक्टूबर 2026

ठोस इलेक्ट्रोलाइट वाली बैटरियों से अधिक सुरक्षित और बेहतर ऊर्जा भंडारण की उम्मीद की जाती है। लेकिन ठोस पदार्थ इस्तेमाल करने भर से बैटरी के भीतर शॉर्ट-सर्किट की समस्या खत्म नहीं हो जाती। जुलाई 2026 में सामने आए एक अध्ययन ने बताया कि इलेक्ट्रोलाइट के छोटे क्रिस्टलों के बीच की सीमाओं पर स्थानीय विद्युत असंतुलन लिथियम धातु जमा होने की शुरुआत में भूमिका निभा सकता है। यह समस्या को समझने और पदार्थ के निर्माण में सुधार की दिशा है, बाजार में हर तरह की बैटरी के लिए तैयार समाधान की घोषणा नहीं।

शोध 6 जुलाई 2026 को *Nature Nanotechnology* में ऑनलाइन प्रकाशित हुआ। उसी दिन MIT ने इसका विवरण दिया और 21 जुलाई को टेक्निकल यूनिवर्सिटी ऑफ म्यूनिख ने भी इसे समझाया। शोध में मुख्य रूप से lithium lanthanum zirconate, संक्षेप में LLZO, नामक ठोस इलेक्ट्रोलाइट की जांच हुई। एक पदार्थ में मिले निष्कर्ष को सभी ठोस इलेक्ट्रोलाइट और हर व्यावसायिक बैटरी पर सीधे लागू करना उचित नहीं होगा।

इलेक्ट्रोलाइट का काम क्या है?

बैटरी में दो इलेक्ट्रोड होते हैं और उनके बीच इलेक्ट्रोलाइट आयनों के आवागमन में मदद करता है। उपयोग के समय इलेक्ट्रॉन बाहरी परिपथ से होकर उपकरण तक विद्युत पहुंचाते हैं। आयनों और इलेक्ट्रॉनों के लिए सही रास्तों का अलग रहना महत्वपूर्ण है। अंदर इलेक्ट्रॉनों के अनचाहे मार्ग बनना या इलेक्ट्रोडों के बीच धातु का रास्ता तैयार होना बैटरी के सामान्य काम में बाधा डाल सकता है।

ठोस-अवस्था बैटरी में तरल के स्थान पर ठोस इलेक्ट्रोलाइट इस्तेमाल करने की दिशा में काम होता है। इसका अर्थ यह नहीं कि पदार्थ के भीतर कोई सूक्ष्म बनावट या दोष नहीं होगा। ठोस इलेक्ट्रोलाइट भी बहुत से छोटे क्रिस्टलों से बना हो सकता है। उसकी रासायनिक संरचना के साथ इन क्रिस्टलों का आपसी संपर्क भी प्रदर्शन को प्रभावित करता है।

ग्रेन बाउंड्री को आसान भाषा में समझें

यहां ग्रेन का अर्थ अनाज नहीं, बल्कि पदार्थ का एक छोटा क्रिस्टल है। दो पड़ोसी क्रिस्टल जहां मिलते हैं, उस क्षेत्र को ग्रेन बाउंड्री कहते हैं। इसे केवल खाली दरार समझना भी सही नहीं है। बहुत सघन पदार्थ में भी क्रिस्टलों की सीमाएं हो सकती हैं और वहां की परमाणु संरचना तथा विद्युत विशेषताएं क्रिस्टल के भीतर के हिस्से से अलग हो सकती हैं।

बैटरी की चर्चा में इलेक्ट्रोड और इलेक्ट्रोलाइट के मिलने की सतह पर अक्सर ध्यान दिया जाता है। इस अध्ययन में ठोस इलेक्ट्रोलाइट के अपने भीतर मौजूद क्रिस्टल सीमाओं को देखा गया। बाहरी संपर्क-सतह और पदार्थ के भीतर की सीमा अलग जगहें हैं। दोनों का प्रभाव हो सकता है, इसलिए नई खोज को पुराने सभी कारणों का खंडन नहीं मानना चाहिए।

डेंड्राइट क्या है और समस्या क्यों बनता है?

लिथियम धातु की बहुत छोटी शाखानुमा संरचनाओं को डेंड्राइट कहा जाता है। वे बढ़कर बैटरी में अनचाहा धात्विक मार्ग बना सकती हैं और शॉर्ट-सर्किट का कारण बन सकती हैं। लेकिन इस प्रक्रिया को केवल एक दिखाई देने वाली शाखा तक सीमित नहीं समझना चाहिए। धातु के छोटे शुरुआती केंद्र कैसे बनते हैं, यह भी महत्वपूर्ण सवाल है।

शोध का सार्वजनिक सार बताता है कि LLZO की ग्रेन बाउंड्री लिथियम धातु के ऐसे शुरुआती जमाव के लिए अनुकूल स्थान हो सकती हैं जो शुरू में विद्युत रूप से अलग हों। इसलिए हर शुरुआती धातु कण को तत्काल पूरा शॉर्ट-सर्किट हो जाना नहीं कहा जा सकता। जमाव की शुरुआत, आगे की वृद्धि और बैटरी की विफलता एक-दूसरे से जुड़े लेकिन अलग चरण हैं।

स्थानीय आवेश का तंत्र

अध्ययन के अनुसार सीमा पर लिथियम की रिक्तियां जमा हो सकती हैं। रिक्ति का मतलब है क्रिस्टल में ऐसा स्थान जहां सामान्य संरचना के संदर्भ में लिथियम का होना अपेक्षित था, लेकिन वह उपलब्ध नहीं है। स्थानीय दोषों की इस व्यवस्था से विद्युत विभव बन सकता है। यह कोई बाहर से लगाया गया नया इलेक्ट्रोड नहीं, पदार्थ के भीतर स्थानीय आवेश-वितरण का प्रभाव है।

इस विभव के कारण आयनों और इलेक्ट्रॉनिक आवेश-वाहकों का वितरण बदलता है। सार में बताया गया कि आयनिक परिवहन बाधित हुआ और सीमा के पास इलेक्ट्रॉनिक चालन क्रिस्टल के भीतर के हिस्से की तुलना में बढ़ा। इलेक्ट्रॉनों की ऐसी उपलब्धता लिथियम आयनों को धातु में बदलने की प्रक्रिया को प्रोत्साहित कर सकती है। इसी तरह छोटी संरचनात्मक भिन्नता बैटरी के बड़े प्रदर्शन-सवाल से जुड़ती है।

यह निष्कर्ष केवल कंप्यूटर से निकाला गया अनुमान नहीं बताया गया है। संस्थागत विवरणों में मॉडलिंग के साथ सूक्ष्मदर्शी तकनीकों और विद्युत-रासायनिक मापन का उल्लेख है। फिर भी हर तकनीक अलग प्रकार का प्रमाण देती है। मॉडल प्रक्रिया की व्याख्या करता है और प्रयोग उसकी जांच में मदद करते हैं। इनका संयुक्त उपयोग तंत्र को समझने का आधार है, हर परिस्थिति में बिल्कुल समान परिणाम का वादा नहीं।

निर्माण प्रक्रिया में क्या बदला?

शोधकर्ताओं ने LLZO तैयार करने की परिस्थितियों में बदलाव करके सीमाओं पर बाधक आवेश कम करने का प्रयास किया। मूल सार में प्रसंस्करण के दौरान ऑक्सीजन की सक्रियता और डोपेंट की निर्धारित मात्रा के अनुपात को बदलने का उल्लेख है। डोपेंट पदार्थ में नियंत्रित रूप से मिलाया गया अतिरिक्त तत्व होता है। उद्देश्य परमाणु स्तर की रसायनिकी और स्थानीय विभव को प्रभावित करना था।

इसे तैयार बैटरी में घर पर कोई पदार्थ मिलाकर ठीक करने का तरीका नहीं समझना चाहिए। यह सामग्री तैयार करने और उसके गुण नियंत्रित करने से जुड़ा प्रयोगशाला शोध है। आम उपभोक्ता के लिए बैटरी खोलने, गर्म करने या उसकी संरचना बदलने का निर्देश इससे नहीं निकलता। भविष्य में उपयोग के लिए निर्माण-नियंत्रण और उत्पाद-स्तर की जांच अलग जरूरी होंगी।

300 प्रतिशत वाला परिणाम क्या बताता है?

MIT और म्यूनिख के विवरणों के अनुसार संशोधित नमूने में आधार नमूने की तुलना में क्रिटिकल करंट डेंसिटी 300 प्रतिशत से अधिक बढ़ी। इसे सीधे बैटरी की क्षमता, कार की दूरी या बैटरी की आयु 300 प्रतिशत बढ़ जाना नहीं कहना चाहिए। क्रिटिकल करंट डेंसिटी परीक्षण की परिस्थितियों में संबंधित विफलता के प्रति सहनशीलता का एक माप है। इसकी इकाई क्षेत्रफल के प्रति धारा होती है।

मूल सार में यह मान एक मिलीएम्पियर प्रति वर्ग सेंटीमीटर तक पहुंचने का उल्लेख है। यह पूरी बैटरी की ऊर्जा नहीं बताता। ऊर्जा घनत्व, शक्ति घनत्व, धारा घनत्व और चार्ज होने का कुल समय अलग माप हैं। किसी एक का बेहतर होना अन्य सभी के समान अनुपात में बेहतर होने का प्रमाण नहीं है। समाचार में आकर्षक प्रतिशत पढ़ते समय उसके साथ माप का नाम और तुलना का आधार भी पढ़ना चाहिए।

इस काम से तेज चार्जिंग और लंबे उपयोग की दिशा में संभावना बनती है। लेकिन उपलब्ध सार और संस्थागत रिपोर्टों से किसी खास फोन या कार का तय चार्जिंग समय, बिक्री मूल्य, रेंज या वारंटी नहीं निकलती। बैटरी आग से पूरी तरह मुक्त हो गई, ऐसा दावा भी यहां नहीं किया जा रहा। बेहतर सामग्री और प्रमाणित सुरक्षित बाजार-उत्पाद के बीच कई जांचें बाकी रहती हैं।

प्रयोग से उपयोग तक क्या जांचना होगा?

व्यावहारिक बैटरी में इलेक्ट्रोलाइट अकेला नहीं होता। इलेक्ट्रोड, उनके संपर्क, निर्माण की समानता और संचालन की परिस्थितियां भी महत्वपूर्ण हैं। इसलिए किसी बेहतर सामग्री को बड़े सेल और लंबे उपयोग में जांचना होगा। यह आगे की मूल्यांकन-जरूरत है,

इस अध्ययन में सभी व्यावसायिक परीक्षण पूरे हो जाने का तथ्य नहीं।

भारत के लिए यह उदाहरण बताता है कि ऊर्जा भंडारण में केवल कच्चे पदार्थ या उत्पादन की मात्रा ही महत्वपूर्ण नहीं है। सूक्ष्म संरचना, सामग्री की रसायनिकी और मापन की क्षमता भी काम आती है। शोध से जुड़ी यह सीख है, किसी भारतीय कंपनी को तकनीक मिल जाने या नई सरकारी योजना मंजूर होने की घोषणा नहीं। ऐसी अलग घोषणा के लिए अलग प्रमाण चाहिए।

परीक्षा के लिए मुख्य अंतर

प्रारंभिक परीक्षा में ग्रेन बाउंड्री और इलेक्ट्रोड-इलेक्ट्रोलाइट संपर्क का अंतर, आयन और इलेक्ट्रॉन का मार्ग तथा धारा घनत्व और ऊर्जा घनत्व का अंतर उपयोगी हैं। मुख्य परीक्षा में यह शोध नई ऊर्जा तकनीकों में मूलभूत विज्ञान की भूमिका का उदाहरण है। छोटी स्थानीय प्रक्रिया कभी-कभी पूरे उपकरण की सीमा तय कर सकती है।

संतुलित निष्कर्ष यह है कि LLZO में क्रिस्टल सीमाओं के आवेश को नियंत्रित करना डेंड्राइट बनने की प्रक्रिया और शॉर्ट-सर्किट सहनशीलता सुधारने की एक दिशा है। इसे सभी ठोस-अवस्था बैटरियों की हर समस्या का अंतिम समाधान या तुरंत उपलब्ध बाजार-उत्पाद नहीं मानना चाहिए। संभावना और सिद्ध परिणाम को अलग रखना तकनीकी खबरों को समझने की सबसे उपयोगी आदत है।

अभ्यास प्रश्न

प्रश्न: (1) ग्रेन बाउंड्री दो पड़ोसी क्रिस्टलों के बीच का क्षेत्र है। (2) क्रिटिकल करंट डेंसिटी में बढ़ोतरी का अर्थ उतने ही प्रतिशत कार की रेंज बढ़ना है। (3) अध्ययन में ठोस इलेक्ट्रोलाइट LLZO का उपयोग हुआ। सही कथन चुनिए: (क) केवल 1 और 2, (ख) केवल 1 और 3, (ग) केवल 2 और 3, (घ) सभी।

उत्तर: (ख)। धारा घनत्व और वाहन की रेंज अलग माप हैं। अध्ययन के परिणाम को सीधे वाहन की तय दूरी में बदलना सही नहीं है।

स्रोत और सीमा

- मूल शोध का सार्वजनिक सार, 6 जुलाई 2026
- MIT का शोध विवरण, 6 जुलाई 2026
- म्यूनिख का विवरण, 21 जुलाई 2026
- अमेरिकी ऊर्जा विभाग: बैटरी की मूल प्रक्रिया

मूल शोध का सार्वजनिक सार और संस्थागत विवरण पढ़े गए हैं, पूरा सदस्यता-आधारित शोधपाठ या पूरक सामग्री नहीं। परिणाम अध्ययन के पदार्थ और तुलना तक सीमित हैं। कोई चित्र, व्यावसायिक उपलब्धता या सुरक्षा-प्रमाणन का दावा नहीं दिया गया है।