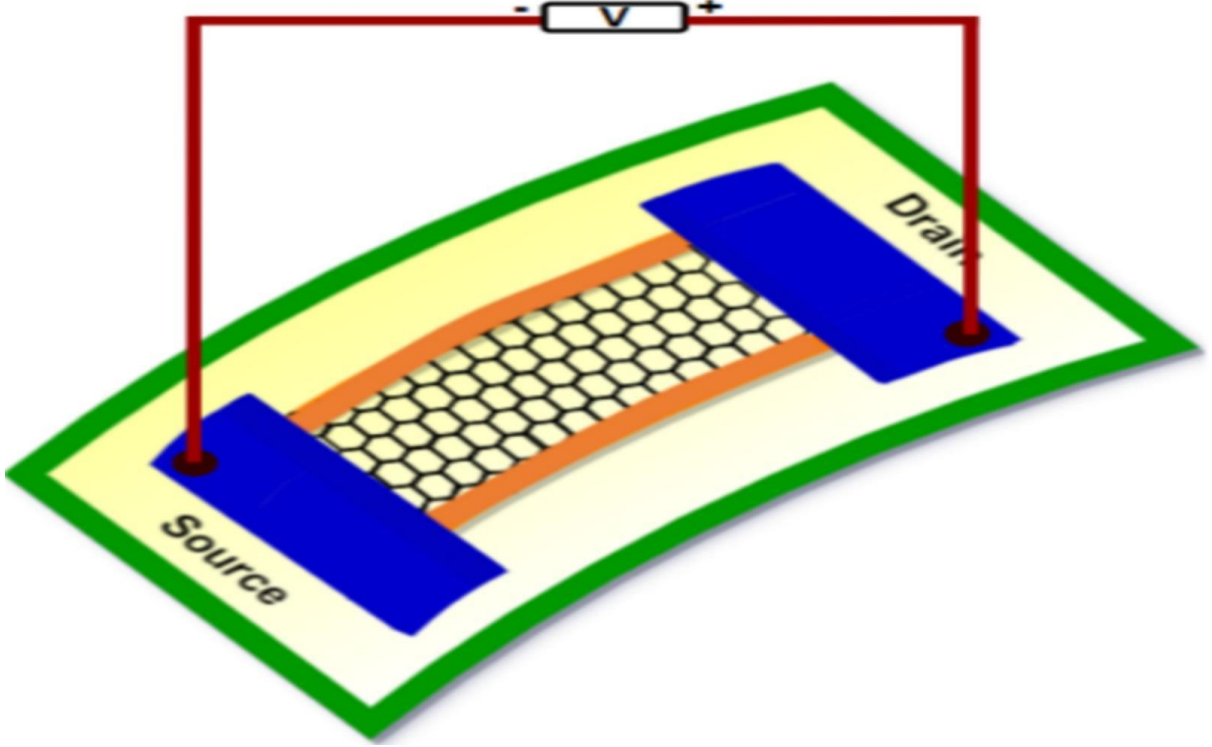


लवचिक इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे बनवण्यासाठी उपयुक्त असणारे नवीन पदार्थ

'झीन्स' नावाचे द्विमितीय पदार्थ ताणले असता त्यांच्या आणवीय गुणधर्मावर होणाऱ्या परिणामांचा संशोधकांनी सैद्धांतिक अभ्यास केला आहे.



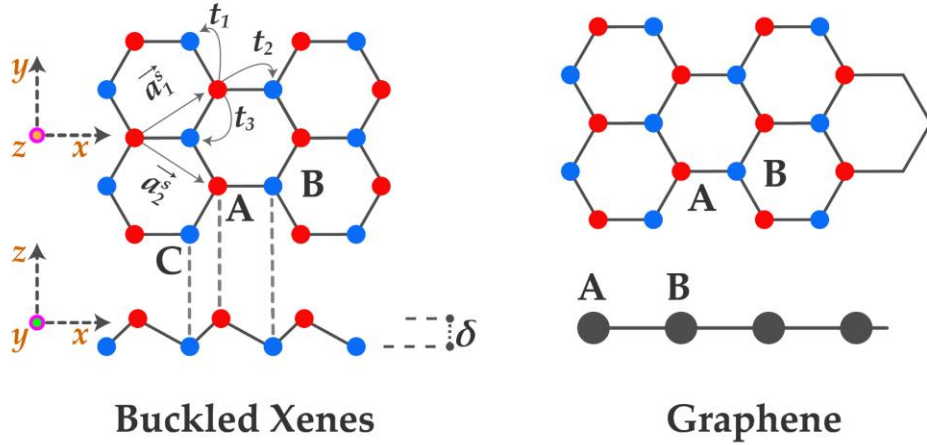
लवचिक अधःस्तरावर दोन स्पर्श-बिंदूंमध्ये बसवलेल्या 'झीन'चे प्रातिनिधिक चित्र

श्रेय: [अभ्यासाचे लेखक](#)

ग्राफीन हा पदार्थ म्हणजे कार्बनचा, एका अणूच्या जाडीचा पातळ थर असतो (द्विमितीय पापुद्रा). ग्राफीनचे विद्युत, यांत्रिकी आणि रासायनिक गुणधर्म असामान्य आहेत. या असामान्य गुणधर्मांमुळे ग्राफीनचे वेगवेगळ्या उद्योगांमध्ये विविध उपयोग केले जातात. हा शोध लागल्यानंतर इतर अनेक द्विमितीय (2-dimensional, 2D) पदार्थ तयार केले गेले, ज्यांना एकत्रितपणे X-enes किंवा झीन्स असे नाव दिले गेले. या नावात 'X' हे अक्षर आवर्त सारणी मधील चौथ्या गटातील मूलद्रव्य दर्शवते – उदाहरणार्थ, सिलिकॉन, जर्मेनियम, कथील (टिन) इत्यादी. या मूलद्रव्यांचे द्विमितीय प्रकार असतात सिलिसीन, जर्मेनीन आणि स्टॅनीन (स्टॅनम या कथीलाच्या लॅटिन नावावरून). या झीन्सचे आण्विक स्तरावरील गुणधर्म पुष्कळसे ग्राफीन प्रमाणे असून शिवाय आणखीही काही वैशिष्ट्ये असल्यामुळे त्यांना आधुनिक डिजिटल विश्वात खास स्थान आहे.

ग्राफीन हा पदार्थ कार्बन अणूंच्या एक-प्रतलीय थराने बनलेला, म्हणजेच एकाच अणूच्या जाडीचा पापुद्रा असतो. परंतु, काही इतर द्विमितीय पदार्थांमध्ये अणूंची रचना नागमोडी किंवा चेनसॉसारखी (आकृतीत

दाखवल्याप्रमाणे) झालेली असते, ज्यामुळे त्यांना 'बकल्ड झीन्स' असे नाव पडले आहे. 'बकल्ड'चा अर्थ साधारण 'वाकलेले' असा आहे. "अणूंच्या रचनेत वाकण्याच्या प्रमाणावरून पदार्थाचे इलेक्ट्रॉनिक गुणधर्म ओळखता येतात, तसेच त्यांच्या रासायनिक प्रतिक्रियांवर याचा परिणाम होतो. त्यामुळे, अशा पदार्थांमध्ये 'बकलिंग' किंवा वाकवलेल्या रचनेच्या मदतीने इच्छित गुणधर्म आणि कार्यक्षमता कृत्रिमपणे नियंत्रित करता येऊ शकते," असे स्पष्टीकरण श्री. स्वस्तिक साहू यांनी दिले. श्री. साहू भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबईच्या (आयआयटी मुंबई) विद्युत अभियांत्रिकी विभागात पीएचडी करत



आहेत.

बकल्ड झीन्सचा शोध तसा नवीन असल्याने त्यांच्या गुणधर्मांचा अभ्यास अद्याप सुरू आहे. आयआयटी मुंबईच्या विद्युत अभियांत्रिकी विभागातील प्राध्यापक भास्करन मुरलीधरन यांच्या नेतृत्वाखाली श्री. साहू आणि आयआयटी मुंबई व इंडिया कोरिया सायन्स अँड टेक्नॉलॉजी सेंटर (आयकेएसटी), बेंगळुरू येथील संशोधकांनी प्रथमच बकल्ड झीन्सच्या गुणधर्मांचे अनुमान लावण्यासाठी [सैद्धांतिक विश्लेषणात्मक अभ्यास](#) केला आहे. पदार्थाचा आण्विक स्तरावर अभ्यास करण्यासाठी त्यांनी प्रचलित आणि एकमेकांना पूरक अशा पुंज सिद्धांतांचा (क्वांटम थिअरीज) वापर केला – घनत्व कार्यात्मक सिद्धांत (डेन्सिटी फंक्शन थिअरी, डीएफटी) आणि पुंज वहन सिद्धांत (क्वांटम ट्रान्सपोर्ट थिअरी). पदार्थ ताणला असता त्याचे विद्युत गुणधर्म कसे असतील हे शोधणे त्यांचे मुख्य उद्दिष्ट होते. डीएफटी एक पुंज यांत्रिकी प्रतिरूप (क्वांटम मेकॅनिकल मॉडेल) असून याचा वापर करून बहु-इलेक्ट्रॉन प्रणालींच्या गुणधर्मांचा अभ्यास करता येतो, उदाहरणार्थ, कक्षेत अनेक इलेक्ट्रॉन असलेले अणू. विद्युत दाब दिला असता अणूंच्या आतले कण त्या पदार्थांच्या आतील संरचनेत कसे फिरतात ते पुंज वहन सिद्धांताच्या मदतीने समजू शकते. या माहितीवरून त्या अणूंचे विद्युत गुणधर्म तपासता येतात.

प्रा. मुरलीधरन यांनी सांगितले, “पूर्णपणे नवीन रेणू किंवा पदार्थ असला तरीही डीएफटी पद्धतीची अनुमान लावण्याची क्षमता उत्तम आहे. एखादा पदार्थ किंवा उपकरण याचे विविध स्थितींमधले वर्तन आणि कार्य कसे चालते हे डीएफटी तंत्रातील आकडेवारीवरून समजून घेता येते.” डीएफटी गणना आयकेएसटी बेंगळुरूच्या सहयोगाने, तेथील संशोधन व विकास विभागप्रमुख डॉ. सतदीप भट्टाचारजी यांच्या नेतृत्वाखाली केली गेली. वेगवेगळ्या ताणस्थिती किंवा विकृतींमध्ये बकल्ड झीन्सचे वर्तन कसे घडते हे समजून घेण्याकरता संशोधकांनी डीएफटी तंत्राचा वापर केला. त्यानंतर, पुंज वहन सिद्धांताच्या सहाय्याने त्यांनी वेगवेगळ्या स्थितींमध्ये पदार्थाच्या इलेक्ट्रॉनिक गुणधर्मांमध्ये कसा फरक पडतो ते पाहिले, उदाहरणार्थ ताण वाढवणे. “पुंज वहन सिद्धांत लॅंडाउअर पद्धतीवर आधारित आहे. इलेक्ट्रॉनच्या हालचालींचे नॅनो स्केलवर विश्लेषण करू शकणारी ही एक सोपी भौतिकी पद्धत आहे. विद्युत प्रवाह-विद्युत दाब संबंध शोधण्यासाठी लॅंडाउअर सूत्र अतिशय उपयुक्त ठरते, ” असे ते पुढे म्हणाले.

संशोधकांच्या गटाने बकल्ड झीन्सच्या गुणधर्मांचा अभ्यास करण्यासाठी पुंज सिद्धांतांचा उपयोग केला, आणि प्रामुख्याने दिशात्मक पिझोरेझिस्टन्स (डायरेक्शनल पिझोरेझिस्टन्स) तपासला. एखाद्या पदार्थाचा पिझोरेझिस्टन्स म्हणजे पदार्थाला ताण दिला असता त्याच्या विद्युत रोधात बदल होण्याचा गुणधर्म. या अभ्यासात असे दिसून आले की द्विमितीय झीन्सवर ताण दिला तरी ते स्थिर असतात. म्हणजे ते पदार्थ वाकवले, ताणले किंवा पिरगाळले तरी ते आपले उच्च विद्युत आणि यांत्रिकी गुणधर्म टिकवून ठेवू शकतात. लवचिकपणे वाकवता येतील अशी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे जसे की परिधानयोग्य उपकरणे किंवा काही स्मार्टफोन यांना फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रॉनिक्स म्हणतात. अशी उपकरणे तयार करण्यासाठी द्विमितीय झीन्सचे वरील गुणधर्म फार उपयुक्त ठरतात.

सिलिसीन या सिलिकॉनच्या एका अणूच्या जाडीच्या थरावर संशोधक गटाने लक्ष केंद्रित केले आणि झीन्स समूहातील इतर पदार्थांशी त्याची तुलना केली, उदाहरणार्थ जर्मेनीन, स्टॅनीन आणि फॉस्फोरिन. “सिलिसीन प्रस्थापित सिलिकॉन उद्योगांमध्ये अनुरूप समजले जाते. त्यामुळे अनेक अनुप्रयोगांसाठी तो उत्तम पर्याय ठरू शकतो,” असे श्री. साहू यांनी नमूद केले. या अभ्यासातून आयआयटी मुंबईच्या संशोधकांनी द्विमितीय झीन्ससाठी वहन कोन (ट्रान्सपोर्ट अँगल) शोधून काढले. हे कोन म्हणजे असे महत्वपूर्ण कोन ज्यामध्ये द्विमितीय झीन्सचे गुणधर्म स्थिर राहू शकतात. स्टॅनीनवर १०% एवढा ताण दिला तरीही ते स्थिर राहते आणि म्हणून त्याचे गुण विशेष उठून दिसतात. एक विशेष निरीक्षण नोंदवत संशोधकांनी असे सांगितले की ताणाचे प्रमाण बदलते ठेवले असता त्यानुरूप पदार्थांमध्ये जे बदल आढळतात ते कंपस्वरूप (साइनसॉइडल तरंग) असतात. हा विशेष गुणधर्म निदर्शनास आल्यामुळे,

जी उपकरणे वाकवली असता (घडी घातल्या प्रमाणे) किंवा त्यांना पीळ दिला असता अपेक्षित परिणाम देतील अशी उपकरणे, उदा. काही फोल्डिंग स्मार्टफोन व स्मार्ट स्क्रीन्स तयार करण्यासाठी अभियंत्यांना मदत होऊ शकेल.

यापुढील अभ्यासात संशोधकांची बकलड झीन्सच्या आणखी काही क्षमता तपासून पाहण्याची योजना आहे. त्यात प्रामुख्याने बकलड झीन्स आणि स्पिन्ट्रॉनिक्सची (इलेक्ट्रॉनच्या आंतरिक फिरकी म्हणजे स्पिनच्या सेमीकंडक्टरवरील परिणामांचा अभ्यास) आपापसातील आंतरक्रिया आणि बकलड झीन्स व धातूचे अधःस्तर यांच्या आंतरपृष्ठावर ताणामुळे होणारे परिणाम यांचा समावेश आहे.

संशोधकांचा अंदाज आहे की बकलड झीन्सची बहु-उपयोगिता आणि स्थिरता विविध उद्योगांमध्ये प्रगतीला चालना देणारी ठरू शकेल. या अभ्यासामुळे उच्च कार्यक्षमता असणाऱ्या फ्लेक्सिबल इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्राचा मार्ग प्रशस्त होऊ शकेल. रोल-अप कॉम्प्युटर्स (गुंडाळी करता येणारे संगणक), परिधान करता येण्याजोगी इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे आणि आधुनिक पुंज उपकरणे (क्वांटम डिव्हाइसेस) या क्षेत्रांमध्ये बकलड झीन्सचे बहुमूल्य योगदान शक्य आहे. यामुळे इलेक्ट्रॉनिक्स विश्वामध्ये भविष्यात अद्वितीय लवचिकता आणि कार्यक्षमता येण्याची आशा आपण बाळगू शकतो.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Density Functional Theory of Straintronics Using the Monolayer-Xene Platform: A Comparative Study
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1021/acsnm.3c05288
List of all researchers with affiliations	Swastik Sahoo, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay Namitha Anna Koshi, Indo-Korea Science and Technology Center, Bengaluru 560064, India Seung-Cheol Lee, Electronic Materials Research Center, KIST, Seoul Satadeep Bhattacharjee, Indo-Korea Science and Technology Center, Bengaluru 560064, India Bhaskaran Muralidharan, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay

VETTED / UNVETTED	Vetted
Email of researcher/s	Bhaskaran Muralidharan < bm@ee.iitb.ac.in > Swastik Sahoo79 <swastik.sahoo79@gmail.com>
Writer name	Dennis Joy
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Authors of the study
Subject	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Buckled Xenes, #Flexible Electronics, #Density Function Theory, #2D materials
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	@denniscj8
Social Media handles of researchers	
Location:	Mumbai