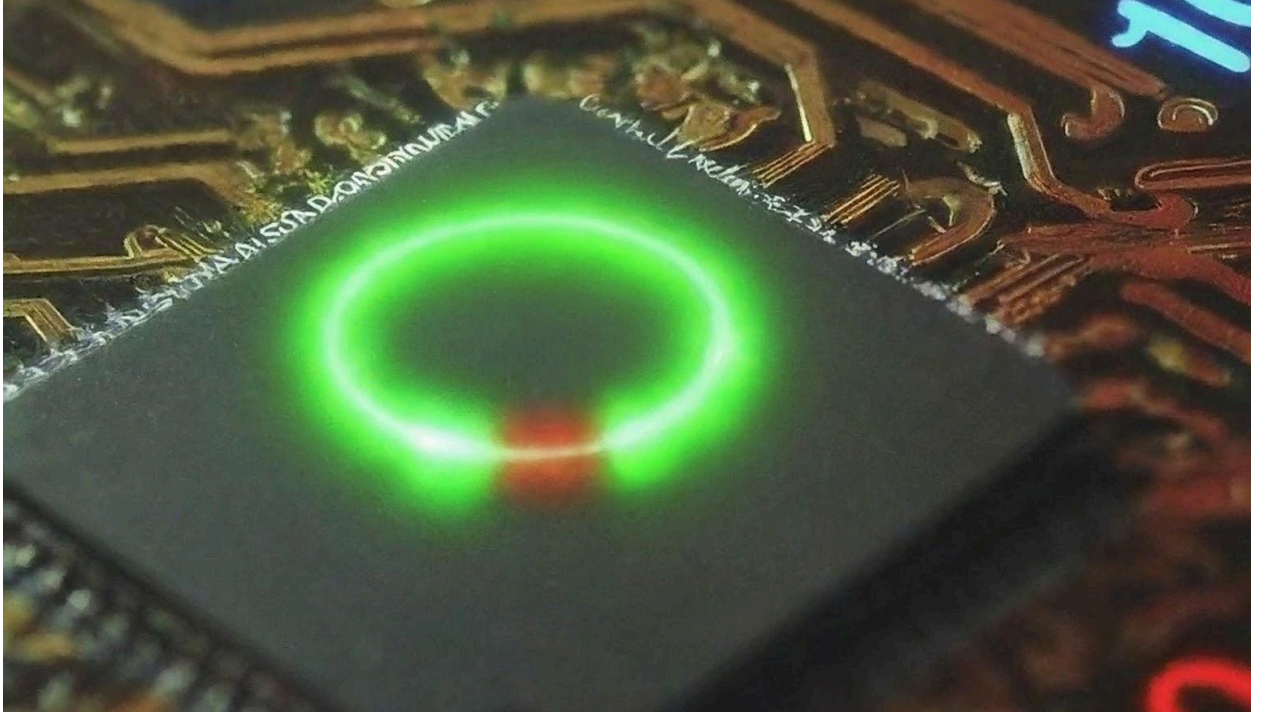


सिलिकॉन नायट्राईडचा उपयोगाने फोटॉनिक तंत्रज्ञानात प्रगती: आयआयटी मुंबईच्या शास्त्रज्ञांची कामगिरी

फोटॉनिक घटकांची क्षमता वाढवण्यासाठी संशोधकांनी सिलिकॉन नायट्राईड वापरून अभिनव पद्धत विकसित केली आहे ज्यामुळे दळणवळण आणि माहिती संस्करण क्षेत्रात आणखी वेगवान, सुरक्षित आणि ऊर्जा-दक्ष तंत्रज्ञान वापरता येईल.



छायाचित्र: जेमिनी एआय च्या सहाय्याने निर्मित

फोटॉनिक तंत्रज्ञान एक उदयोन्मुख क्षेत्र असून त्याद्वारे अधिक वेगवान, सुरक्षित आणि ऊर्जा-दक्ष तंत्रज्ञान निर्माण होऊ शकेल. भविष्यातील संचार आणि माहिती संस्करण क्षेत्रातील प्रगतीमध्ये फोटॉनिक तंत्रज्ञानावर आधारित घटकांचा अत्यंत मोलाचा वाटा असणार आहे. ज्या प्रकारे इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांमध्ये इलेक्ट्रॉन नियंत्रित केले जातात त्या प्रमाणे फोटॉनिक तंत्रज्ञानात प्रकाशकण नियंत्रित केले जातात. भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) आणि टाटा मूलभूत संशोधन संस्था, मुंबई (टीआयएफआर मुंबई) मधील संशोधकांच्या गटाने अलीकडे केलेल्या एका [अभ्यासात](#) सिलिकॉन नायट्राईड वापरून फोटॉनिक घटकांची कार्यक्षमता वाढवू शकणारी एक अभिनव पद्धत विकसित केली आहे.

सहसा फोटॉनिक घटक तयार करायला किचकट उत्पादन पद्धत लागते. ह्या पद्धतीने उत्पादित घटकांची स्थिरता कमी असते आणि त्यातून प्रकाशीय ऊर्जेची गळती होत असल्याने फोटॉनिक घटकांची कार्यक्षमता कमी होते. प्रकाश स्रोत (उत्सर्जक) आणि फोटॉनिक घटक वेगवेगळ्या पदार्थांनी बनवलेले असल्यामुळे 'कपलिंग क्षमता' कमी असते. म्हणजे प्रकाश स्रोतातून बाहेर येणारा प्रकाश अचूकपणे फोटॉनिक घटकात मार्गदर्शित केला जात नाही आणि प्रकाश वाया जाऊन घटकाची कार्यक्षमता कमी होते.

वरील समस्या सोडवण्यासाठी एकाच पदार्थापासून प्रकाश उत्सर्जक आणि फोटॉनिक घटक तयार करण्याचे प्रयत्न संशोधक करत आहेत. याला 'मोनोलिथिक इंटीग्रेशन' म्हणतात. सामान्य तापमानात एकल-प्रकाशकण उत्सर्जित करण्याची (सिंगल-फोटॉन एमीटर) उत्तम क्षमता असलेला एक पदार्थ म्हणजे सिलिकॉन नायट्राईड. शिवाय, सध्या प्रचलित असलेल्या अर्धचालक उत्पादन तंत्रांशी (सीमांस (CMOS) तंत्रज्ञान) सिलिकॉन नायट्राईड सुसंगत असल्याने सदर अभ्यासात संशोधकांनी सिलिकॉन नायट्राईडची निवड केली.

सदर अभ्यासाचे मुख्य संशोधक, आयआयटी मुंबईचे प्रा. अंशुमन कुमार श्रीवास्तव यांनी सांगितले, "नॅनोफोटॉनिक्स च्या दुनियेत सिलिकॉन नायट्राईड हा इंटीग्रेटेड फोटॉनिक सर्किट बनवण्यासाठी अग्रणी पदार्थ म्हणून प्रस्थापित आहे. सिलिकॉन नायट्राईड मध्ये अंगभूत उत्सर्जक असल्यामुळे हे संशोधन महत्वाचे ठरते." सिलिकॉन नायट्राईड मधील आंतरिक उत्सर्जक जर वाढवता आणि नियंत्रित करता आले तर वैज्ञानिकांना समाकलित फोटॉनिक्स (इंटीग्रेटेड फोटॉनिक्स) वर आधारित अनुप्रयोगांचा मोठा खजिना खुला होईल. "या प्रयत्नामुळे सिलिकॉन नायट्राईड मध्ये असलेल्या क्षमता आपल्याला वापरता येतील ज्यामुळे नाविन्यपूर्ण पद्धतीने फोटॉनिक्सचे समाकलन आणि पर्यायाने प्रकाशीय (ऑप्टिकल) तंत्रज्ञानासाठी मार्ग प्रशस्त होऊ शकेल," असे त्यांनी पुढे सांगितले.

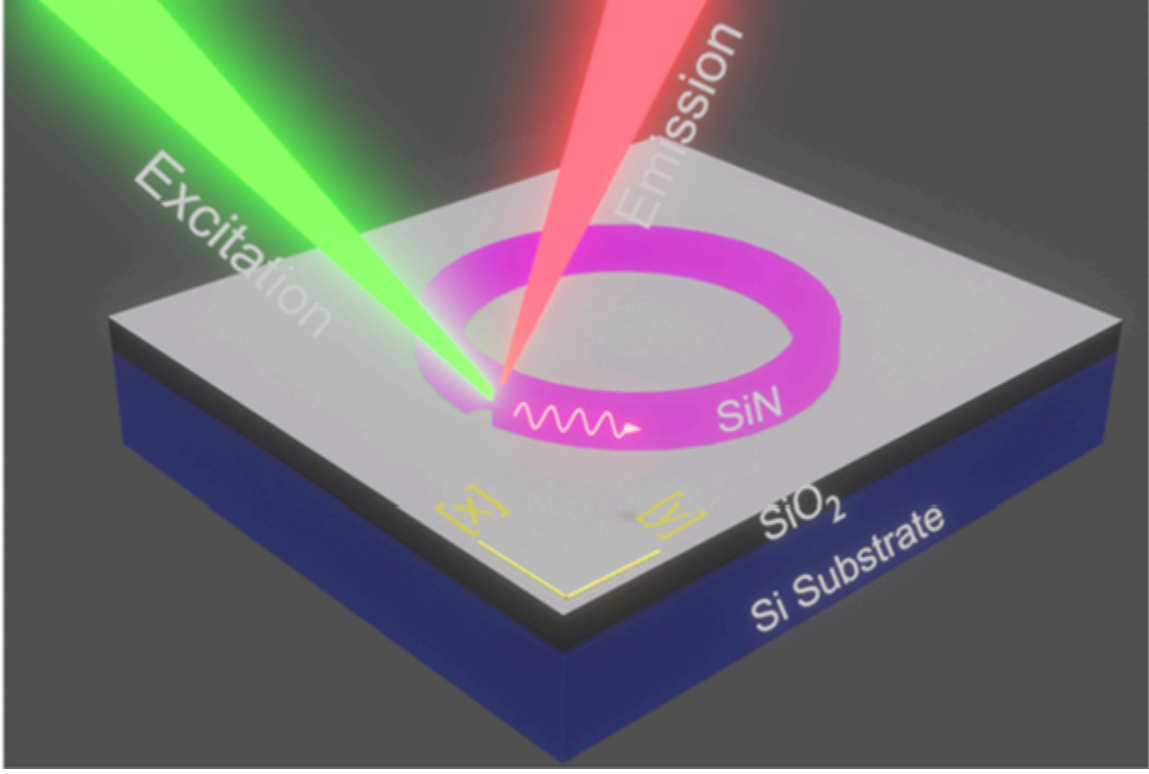
आयआयटी मुंबईच्या या नवीन अभ्यासाच्या केंद्रस्थानी 'मायक्रोरिंग रेजोनेटर' किंवा 'सूक्ष्मवलय अनुस्पंदक' नावाची सिलिकॉन नायट्राईडची संरचना आहे. मायक्रोरिंग रेजोनेटर सूक्ष्म पोकळीसारखे (मायक्रोकॅव्हिटी) काम करते ज्याच्या आत प्रकाश अनेक वेळा परावर्तित होऊन पोकळीतच पकडला जातो आणि त्यामुळे प्रकाश कणांच्या उत्सर्जनाला उतेजन मिळते. या विशिष्ट पद्धतीचे प्रकाश-मार्ग सूक्ष्म पोकळीच्या आतल्या बाजूने परिघावर फिरत असतात. प्रकाश जेव्हा या पद्धतीने फिरतो तेव्हा त्याला 'व्हिस्पेरिंग गॅलरी मोड्स' म्हणतात आणि त्यासाठी ही सूक्ष्म पोकळी अभियंत्रित असते.

"सोप्या भाषेत सांगायचे झाले तर, 'व्हिस्पेरिंग गॅलरी मोड' या व्यवस्थेमध्ये ध्वनी किंवा प्रकाश तरंग तीव्रता कमी न होता एखाद्या वर्तुळाकार कक्षाच्या किंवा गोलाच्या वक्र पृष्ठभागाच्या आत सगळीकडे फिरत राहतात. यामुळे दिसणारा परिणाम म्हणजे अगदी बारीकशी कुजबुज (इंग्रजी मध्ये व्हिस्पेर) किंवा लहानसा प्रकाश, गोलाच्या लांब असलेल्या विरुद्ध बाजूच्या पृष्ठभागावर टिपता येतात," असे स्पष्टीकरण अभ्यासाचे सह-प्रमुख आणि आयआयटी मुंबईमधील पीएचडी विद्यार्थी श्री. अनुज कुमार सिंग यांनी दिले. उदाहरणार्थ, बिजापूर, कर्नाटक येथील गोलघुमटात अशा प्रकारची व्हिस्पेरिंग गॅलरी आहे.

"प्रकाशिकी मध्ये या पद्धतीने प्रकाश लहरी वक्र पृष्ठभागावरून फिरतात आणि वरचेवर त्यावरून उसळी मारतात. त्यामुळे या अत्याधिक सीमित भागात दीर्घ काळ प्रकाश-मार्ग टिकून राहतात. याचा उपयोग प्रकाशीय अनुस्पंदक (ऑप्टिकल रेजोनेटर), संवेदक आणि लेझर सारख्या विविध उपकरणांमध्ये करता येऊ शकतो," अशी आणखी माहिती अभ्यासाचे सह-प्रमुख, श्री. किशोर कुमार मंडल, यांनी दिली.

मात्र स्पेरिंग गॅलरी मोड्स मध्ये वर्तुळाकार पोकळ्यांमधून प्रकाश आत सोडणे आणि बाहेर काढणे अवघड आहे. यावर तोडगा म्हणून संशोधकांनी मायक्रोरिंग मध्ये एक खाच (नाँच) तयार केली. या खाचेतून प्रकाशाचा प्रवेश होतो आणि प्रकाश प्रभावीपणे पोकळीच्या आत-बाहेर करू शकतो. ही पद्धत वापरून

संशोधकांना प्रकाश उत्सर्जकांची सिलिकॉन नायट्राईडच्या मायक्रोरिंग पोकळीशी व्हिस्पेरिंग गॅलरी मोड्स पद्धतीमध्ये प्रभावी जोडणी करता आली. यामुळे पोकळीत अडकलेला प्रकाश बाहेर काढायच्या आतापर्यंत आव्हानात्मक ठरलेल्या प्रक्रियेसाठी नवीन उपाय मिळाला आहे.



सिलिकॉन नायट्राईड मायक्रोरिंग कॅव्हिटी रचनेत प्रकाश नियंत्रणाचे प्रतीकात्मक चित्र  
प्रतिमा श्रेय: [अभ्यासाचे लेखक](#)

संशोधकांच्या या नवीन पद्धतीमुळे कदाचित प्रत्यक्षात एखाद्या चिप वर बसवता येऊ शकतील (ऑन-चिप) असे प्रकाश उत्सर्जक तयार करता येतील. यामुळे कोणतीही अस्थिरता किंवा अपव्यय न होता अनेक प्रकाशीय आणि पुंज (फोटॉनिक आणि क्वांटम) तंत्रज्ञानांत मदत होईल. अशाने बहुतांश इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांप्रमाणे हे उत्सर्जक देखील चिप मध्ये एकीकृत करता येतील. अशा रीतीने या अभ्यासात सिलिकॉन नायट्राईड अगदी सूक्ष्म आकाराच्या उपकरणांमध्ये प्रकाश नियंत्रित करणारा पदार्थ आहे अशी क्षमता सिद्ध झाली आहे.

संशोधनातून आलेल्या निष्कर्षाबद्दल सांगताना श्री. अनुज कुमार सिंग म्हणाले, “अगदी नजीकच्या भविष्यात उपयोगी पडतील अशा अनेक प्रत्यक्ष अनुप्रयोगांसाठी हे कार्य खूप महत्वाचे आहे, जसे पुंज संगणन (क्वांटम कॉम्प्युटिंग), सुरक्षित दळणवळण (सेक्युरर कम्युनिकेशन्स) आणि पुंज संवेदन (क्वांटम सेन्सिंग). काही अनुप्रयोग प्रत्यक्षात उतरवण्यासाठी आणखी संशोधन गरजेचे आहे, मात्र काही अनुप्रयोग लवकर आणि सहज प्रत्यक्षात येऊ शकतात.” एकंदरीत निष्कर्षांमधून सिलिकॉन नायट्राईड पदार्थ फोटॉनिक तंत्रज्ञानात मोलाची कामगिरी करू शकतो हे मात्र नक्की झाले आहे.

सिलिकॉन नायट्राईड चा वापर करणाऱ्या उत्पादन प्रक्रियेत मात्र अद्याप काही त्रुटी आहेत आणि त्यामुळे या अभिनव पद्धतीच्या क्षमतेला मर्यादा येऊ शकतात. संशोधकांना विश्वास वाटतो की क्षमता वाढवण्यासाठी पदार्थ विकास तंत्र (मटेरियल ग्रोथ टेक्निक) आणि पोकळीची रचना यात सुधारणा केल्या जाऊ शकतात.

“आमच्या संशोधनाचे योगदान महत्वाचे आहे कारण प्रकाश आणि पदार्थ यांच्यातील प्रभावी परस्परक्रिया (लाईट-मॅटर इंटरॅक्शन), नियंत्रित पुंज उत्सर्जन (क्वांटम एमिशन), उन्नत फोटॉनिक उपकरणे, सुलभ एकीकरण, आणि पुंज फोटॉनिक्स मध्ये पुंज संगणनाच्या क्षमतांची वाढ हे सर्व त्याने शक्य होऊ शकते. या प्रगतीमुळे सुरक्षित दळणवळण, अति-जलद संगणन आणि विज्ञान व तंत्रज्ञान क्षेत्रात परिवर्तन घडवू शकणारे इतर तंत्र विकसित होण्याचा मार्ग प्रशस्त होऊ शकतो,” असे श्री. किशोर कुमार मंडल यांनी नमूद केले.

थोडक्यात म्हणजे, उच्च-गती, सुरक्षित आणि ऊर्जा-दक्ष डिजिटल भविष्य कदाचित कल्पनेपेक्षा लवकर प्रत्यक्षात येईल !

<b>VETTED / UNVETTED</b>	Vetted
<b>Title of Research Paper</b>	Emission Engineering in Monolithically Integrated Silicon Nitride Microring Resonators
<b>DOI of the Research Paper as a link</b>	<a href="https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.4c00105">https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.4c00105</a>
<b>List of all researchers with affiliations</b>	<p>Kishor Kumar Mandal, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p> <p>Anuj Kumar Singh, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p> <p>Brijesh Kumar, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p> <p>Amrita Majumder, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p> <p>Janhavi Jayawant Khunte, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p>

<b>VETTED / UNVETTED</b>	Vetted
	<p>Anshuman Kumar, Laboratory of Optics of Quantum Materials, Department of Physics, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, 400076, India</p> <p>Amit P. Shah, Department of Condensed Matter Physics and Material Science, Tata Institute of Fundamental Research, Homi Bhabha Road, Mumbai, 400005 India</p> <p>Rishabh Vij, Department of Condensed Matter Physics and Material Science, Tata Institute of Fundamental Research, Homi Bhabha Road, Mumbai, 400005 India</p> <p>Venu Gopal Achanta, Department of Condensed Matter Physics and Material Science, Tata Institute of Fundamental Research, Homi Bhabha Road, Mumbai, 400005 India</p>
<b>Email of researcher/s</b>	<a href="mailto:anujsingh@iitb.ac.in">anujsingh@iitb.ac.in</a> , <a href="mailto:anshuman.kumar.srivastava@gmail.com">anshuman.kumar.srivastava@gmail.com</a> , <a href="mailto:kishoruoh@gmail.com">kishoruoh@gmail.com</a>
<b>Writer name</b>	Sudhira HS
<b>Transcreator name</b>	Shilpa Inamdar-Joshi
<b>Credits to Graphic:</b>	Generated using Gemini AI tool
<b>Subject</b>	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
<b>Article to be Sectioned Under</b>	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
<b>Social Media TAGS separated by Comma</b>	#Photonics #SiliconNitride #Quantum Technologies #LightEmitter
<b>Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]</b>	
<b>Social Media Handles to be added</b>	@iitbombay

<b>VETTED / UNVETTED</b>	Vetted
<b>Social Media handles of writer</b>	
<b>Social Media handles of researchers</b>	<p>Linkedin:</p> <p><a href="http://linkedin.com/in/anuj-singh-iitb">http://linkedin.com/in/anuj-singh-iitb</a></p> <p><a href="https://www.linkedin.com/company/loqm">https://www.linkedin.com/company/loqm</a></p> <p><a href="https://www.linkedin.com/in/kishorkm-phy/">https://www.linkedin.com/in/kishorkm-phy/</a></p> <p>X:</p> <p>@AnujSingh_96</p> <p>@loqmiitb</p> <p>Facebook:</p> <p><a href="https://www.facebook.com/profile.php?id=100004699088436">https://www.facebook.com/profile.php?id=100004699088436</a></p> <p><a href="https://www.facebook.com/loqm.iitb">https://www.facebook.com/loqm.iitb</a></p> <p><a href="https://www.facebook.com/profile.php?id=100006434344307">https://www.facebook.com/profile.php?id=100006434344307</a></p>
<b>Location:</b>	Mumbai