

Neue Nanostruktur macht nichtlineare Lichtpolarisation 72.000-mal effizienter

2.9.2026 - Marcus Ossiander | Technische Universität Graz

Forschende von TU Graz, Harvard und der University of Texas at Austin haben eine innovative Methode entwickelt, um Licht nichtlinear zu koppeln. Das eröffnet neue Möglichkeiten für Telekommunikation und Quantentechnologie.

Mit einer neu entwickelten Kombination aus Halbleiterschicht und Metaoberfläche ist einem Forschungsteam mit Mitgliedern der TU Graz, aus Harvard und der University of Texas at Austin (UT Austin) ein Durchbruch bei der Umwandlung von Licht in neue Frequenzen gelungen. Mit ihrer Methode wird das Licht rund 72.000-mal effizienter transformiert als mit bisherigen Materialien. Ihre Forschungsergebnisse haben die Forschenden in der Fachzeitschrift Nature Nanotechnology publiziert.

Licht ist als Übertragungsmedium von Information keine Unbekannte, seine lineare Ausbreitung ermöglicht zum Beispiel die Kommunikation in modernen Glasfasernetzen. Für komplexe Rechenoperationen, Quantentechnologie und -Kryptographie oder Frequenzkämme für hochpräzise Messtechnik ist dies aber unzureichend. Hier braucht es nichtlineare Polarisation, wodurch Photonen miteinander interagieren und Informationen untereinander austauschen können.

Miniaturisierung bisher nicht möglich

„Traditionell werden ausgedehnte kristalline Strukturen wie Lithiumniobat genutzt, um Lichtwellen nichtlinear zu koppeln“, sagt Marcus Ossiander vom Institut für Experimentalphysik der TU Graz. „Dabei werden aber recht große Volumen und viel Lichtenergie benötigt, was einer Miniaturisierung und vielen Anwendungsfällen bisher im Weg stand. Unsere Methode ermöglicht es, nichtlineare Polarisation mit Licht in kleineren Strukturen und mit wesentlich weniger Energieaufwand zu erzeugen.“

Ausgangspunkt für die Entwicklung des „Lichtkonverters“ war eine Idee der Arbeitsgruppe um Seth Bank an der UT Austin. Sie züchtete mittels Molekularstrahlepitaxie Halbleiterschichten aus Galliumarsenid und Aluminiumgalliumarsenid im Nanometerbereich, die asymmetrisch gekoppelte Quantentöpfe enthalten. Diese Töpfe beschränken die Bewegung der Elektronen räumlich so stark, dass quantisierte, atomähnliche Zustände entstehen. Weil die Quantentöpfe bewusst asymmetrisch design sind, bewegen sich die Elektronen unter Lichteinfluss bevorzugt in eine Richtung. In dieser künstlich erzeugten Einbahnstraße bauen sich asymmetrische bzw. nichtlineare Elektronenschwingungen auf, durch die Lichtwellen äußerst effizient miteinander agieren können.

Lösung für passenden Lichteinfall

Diese Entwicklung aus Texas hatte aber noch eine Einschränkung: Um den vollen Effekt der Halbleiterschichten nutzbar zu machen, musste sich das Licht parallel zu ihnen ausbreiten, wofür es keine technische Lösung gab. In den meisten Anwendungen hätten sich die Elektronen deshalb nicht entlang der künstlichen Einbahnstraße bewegt und ein Großteil des nichtlinearen Effekts wäre verpufft. Es gab also ein vielversprechendes Material, aber keinen geeigneten Zugang zu dessen Eigenschaften. Marcus Ossiander kam dann die entscheidende Idee: Eine Metaoberfläche aus einem

präzisen Schachbrettmuster mit Säulen aus Titandioxid, die einige hundert Nanometer groß sind. Diese Metaoberfläche wird direkt auf die Halbleiterschicht gesetzt und lenkt das Licht so ab, dass es entlang der Einbahnstraße streut. Diese Idee setzte er gemeinsam mit der Arbeitsgruppe von Federico Capasso in Harvard, insbesondere seiner Mitarbeiterin Pernille Fathi, in die Realität um. Dadurch gelang es, die Eigenschaften der Halbleiterschicht für die Anregung nichtlinearer Lichtpolarisation zu nutzen und sie sogar noch zu verstärken.

Bei den experimentellen Tests stießen die Forschenden auf ein neues Phänomen. Fällt das Licht absolut gerade auf das Bauteil aus Metaoberfläche und Halbleiterschicht, löschen sich die optischen Felder aufgrund der geometrischen Symmetrie gegenseitig aus. Ein minimales Kippen der Probe um gerade einmal 0,3 Grad brach diese Symmetrie jedoch auf und ermöglichte die hocheffiziente nichtlineare Polarisation mit Licht. „Diese um das 72.000-Fache effizientere Konvertierung des Lichts gelingt uns bei Wellenlängen, die für die Telekommunikation genutzt werden“, sagt Marcus Ossiander. „Im Vergleich zur Technologie, die in den vergangenen 30 bis 40 Jahren genutzt worden ist, ist das ein enormer Sprung. Diese gesteigerte Effizienz bedeutet nicht nur geringere Größen für zukünftige Bauteile, sondern auch einen geringeren Energieaufwand, etwa zur Informationsübertragung innerhalb von Rechenzentren von Computer zu Computer. Für Optik-Hersteller, die sich mit integrierter Photonik befassen, dürfte das ebenso interessant sein wie für Firmen, die mit ihrer Hilfe gigantische Datenmengen verarbeiten.“

Publikation: Quantum-well metasurface for free-space-accessible enhanced nonlinear polarization

Autor*innen: Pernille Undrum Fathi, Irene Occhiodori, Patrick Devaney, Amberly Ricks, Rithvik Ramesh, Yiwei Ju, Moaz Waqar, Theodore P. Letsou, Christina M. Spägele, Hyunseung Jung, Igal Brener, Xiaoqing Pan, Marcus Ossiander, Seth R. Bank, Federico Capasso

In: Nature Nanotechnology, 2026

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41565-026-02268-0>

Kontakt

Marcus OSSIANDER

Assoc.Prof. Dr.rer.nat. B.Sc. M.Sc.

TU Graz | Institut für Experimentalphysik

Tel.: +43 316 873 8666

marcus.ossiandernoSpam@tugraz.at

<https://www.tugraz.at/news/artikel/nichtlineare-lichtpolarisation-physik>