

Optische Metaoberflächen

Nanostrukturen ermöglichen kompakte multifunktionale Komponenten

Metaoptiken sind dünne und leichte nanostrukturierte Schichten, die herkömmliche optische Komponenten oder Systeme ersetzen können. Winzige Nanostrukturen, sogenannte Metaatome, können Licht gezielt manipulieren. Die Eigenschaften von Metaatomen lassen sich so gestalten, dass kompakte multifunktionale optische Komponenten entstehen. Diese eignen sich beispielsweise zur Lichtfokussierung, zur Erzeugung von strukturiertem Licht, für die Polarisationsoptik, zur Erzeugung von Hologrammen oder sogar zum Ersatz mehrerer optischer Elemente durch eine einzige Metaoberfläche. Die Herstellung solcher Metaoptiken ist mit Standard-Halbleiter-Fertigungsverfahren kompatibel, sodass diese Technologie für die Massenproduktion geeignet ist. Einsetzen lassen sich Metaoptiken unter anderem in Sensoren, Kameras oder Displays.

Metagitter zur Lichtsteuerung

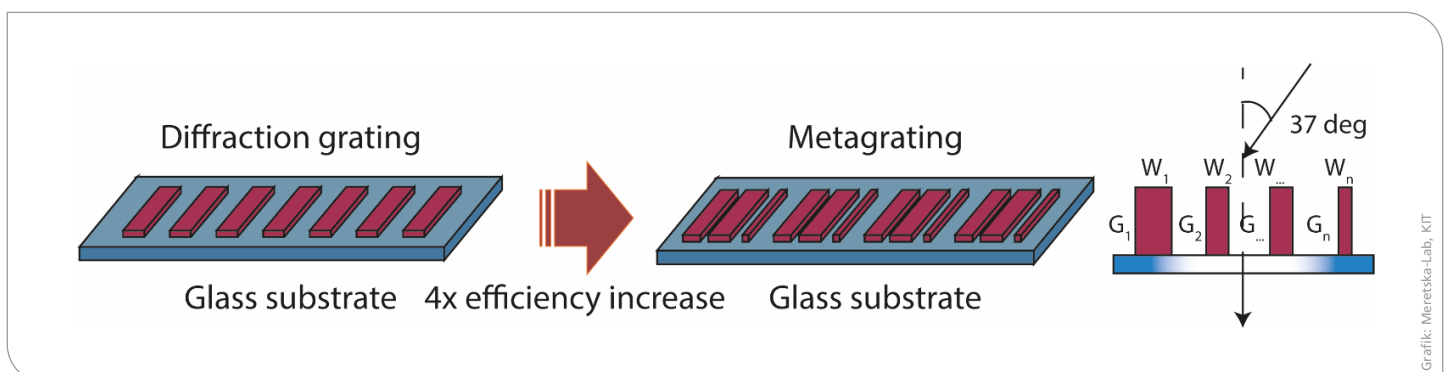
Ein Beispiel für das Potenzial optischer Metaoberflächen ist ein neu entwickeltes Metagitter zur Lichtsteuerung, das Lichtwellen auch bei steilen Einfallswinkeln lenkt. Gewöhnlich sinkt die Effizienz von Beugungsgittern, wenn der Einfallswinkel steigt. Das neue Metagitter zeigt jedoch eine vierfach höhere Effizienz als herkömmliche Beugungsgitter. Die Anwendungen des am KIT entwickelten Metagitters erstrecken sich auf verschiedene Industriezweige und umfassen beispielsweise Materialsortierung, Qualitätskontrolle, Projektionssysteme, Solarzellen und Barcode-Scanner.

Metaoptik – neue optische Komponenten

Herkömmliche Linsen für Bildgebung, Mikroskopie, Sensorik, Detektion und Photonik im Allgemeinen basieren auf der Brechung von Licht durch gebogenes Glas oder Polymermaterialien. Archäologische (Funde deuten darauf hin, dass bereits die Ägypter und Mesopotamier polierte Glasstücke als optische Komponenten verwendeten. Seitdem hat sich das Grundprinzip der Herstellung nicht geändert. Zwar gibt es fortschrittliche Polierwerkzeuge, doch ist ihre Funktion durch die Form der herstellbaren Komponenten beschränkt. Linsen erzeugen Abbildungsfehler, sie sind sperrig und in ihrer Funktionalität begrenzt, was sich in sperrigen optischen Systemen mit begrenzter Funktionalität niederschlägt.

Die jüngsten Fortschritte in der Halbleiterindustrie haben die Entwicklung grundlegend neuer optischer Komponenten ermöglicht, die als Metaoptik bezeichnet werden. Im Unterschied zu herkömmlichen optischen Komponenten basieren Metalinsen auf nanostrukturierten Arrays, das heißt Metaatomen, um Phase, Amplitude und Polarisation des Lichts auf einer Subwellenlängenskala zu manipulieren.

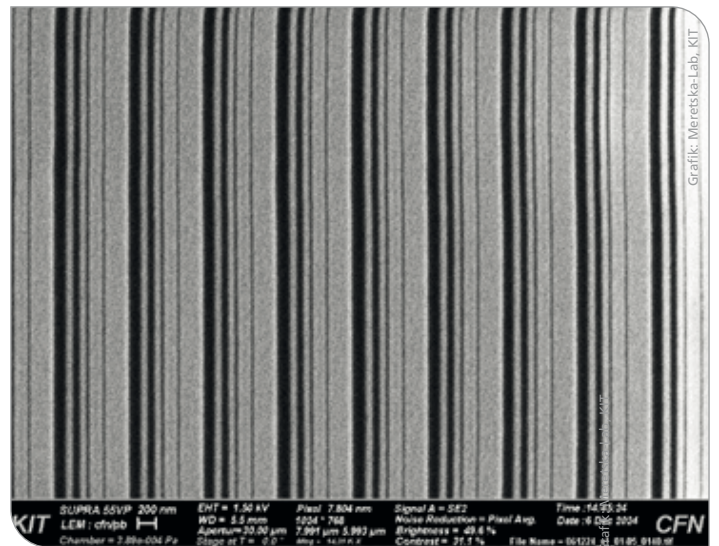
Metalinsen bieten mehrere Vorteile gegenüber herkömmlichen Linsen: Ihr ultradünnes, planares Design reduziert Größe und Gewicht erheblich, was sie für den Einsatz in mobilen Geräten, Kompaktkameras, Sensoren und tragbaren Optiken besonders attraktiv macht. Darüber hinaus ermöglicht die Designflexibilität der Metaoberflächen eine Multifunktionalität, sodass sie mehrere optische Komponenten ersetzen können.



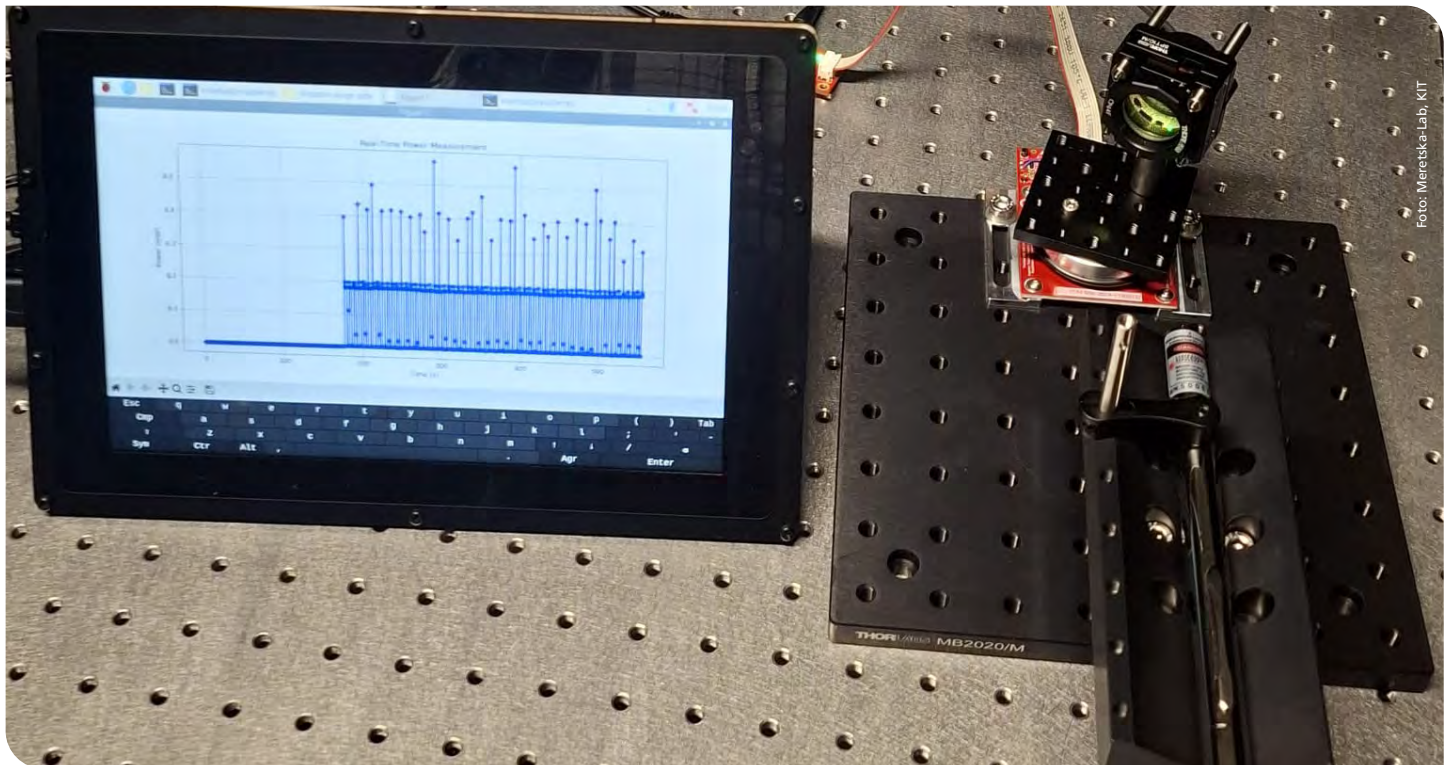
Herkömmliches Beugungsgitter (links), Metagitter mit vierfach höherer Effizienz (Mitte), Metagitter von der Seite gesehen (rechts).

Verbesserte Leistung und Wirtschaftlichkeit

Kleiner Formfaktor, niedriges Gewicht und Multifunktionalität der Komponenten erlauben die Entwicklung optischer Systeme mit verbesserter Leistung und zugleich niedrigerem Gewicht, niedrigeren Transportkosten und geringerem Wartungsaufwand. Die verbesserte Leistung kann sich auf mehrere Parameter des Systems erstrecken. Möglicherweise lassen sich zusätzliche Funktionen hinzufügen, ohne dass sich der Preis der optischen Systeme nominal erhöht. Die Entwicklung von metaoptischen Lösungen beginnt mit einer detaillierten Analyse des jeweiligen optischen Systems. Anhand von elektromagnetischen Simulationen werden metaoptische Komponenten entworfen. Das metaoptische Demonstratorbauteil wird im Reinraum des KIT nanofabriziert. Da sich Metaoptiken in Halbleiterfabriken herstellen lassen, ist die Skalierbarkeit der Produktion mit der Halbleiterindustrie vergleichbar, in der täglich Millionen von Chips hergestellt werden.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Metagitters.



Der Versuchsaufbau im Labor.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Nanotechnologie (INT)

Dr. Maryna L. Meretska
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 721 608-28947
E-Mail: maryna.meretska@kit.edu
Web: www.int.kit.edu/8658.php



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe

Karlsruhe © KIT 2025