

# Der Natur auf der Spur

Die Ermittlung optischer Mikro- und Nanostrukturen eröffnet völlig neue technologische Perspektiven.

► Über viele Jahrtausende lernten die Menschen, der Natur die Stoffe abzurufen, die für die vielfältigsten Anwendungen die günstigsten Eigenschaften aufwiesen. Heutzutage gibt es zahlreiche organische und anorganische Materialien mit kontrollierbaren Eigenschaften, ohne die unser Alltagsleben nicht mehr denkbar wäre.

Ein bekanntes Beispiel in der Optik betrifft die optische Faser auf Quarzglasbasis. Sie erlaubt die beugungsfreie Ausbreitung des Lichtes im nahen infraroten Spektralbereich über Zehntausende von Kilometern. Damit wurde die Nachrichtenübertragung revolutioniert.

Die Notwendigkeit nach immer weiter steigenden Übertragungskapazitäten erforderte in jüngster Zeit zusätzliche Anstrengungen, um die Ausbreitung und die Ausbreitungseigenschaften von Licht in optischen Netzen vollständig kontrollieren zu können. Hier eröffnet die Mikro- und Nanostrukturierung grundsätzlich neuartige Möglichkeiten. So gelingt beispielsweise durch die Darstellung einer speziellen Wellenleitergeometrie eine Verschiebung des Nullpunktes der Dispersionskurve in weiten Bereichen. Die höchste Design-Flexibilität weisen hierbei so genannte ASM-Fasern (Air-Silica-Microstructured-Fiber) auf. Bei diesen Fasern wird der Brechzahlssprung zwischen Luft- und Quarzglas ausgenutzt, um einzigartige Führungseigenschaften für das Licht in Wellenleiterstrukturen zu realisieren. So ist der Modenfelddurchmesser des geführten Lichts in ASM-Fasern im Allgemeinen auf wenige Mikrometer begrenzt.

## Bragg-Reflexion als Grundprinzip

Optische Mikro- und Nanostrukturen besitzen aber auch das Potential, die Ausbreitung und die Ausbreitungseigenschaften des Lichtes auf extrem kurzen Längenskalen kontrollieren zu können.

In Analogie zum Verhalten der Elektronen in Kristallgittern fand man heraus, dass sich Photonen (hier als Synonym für Licht verwendet) in ausgedehnten dielektrischen Strukturen mit periodisch variierenden Brechzahlen ähnlich verhalten können. Den einfachsten photonischen Kristall stellt dabei ein Bragg-Gitter dar. Für einen einfallenden Lichtstrahl existiert in einer derartigen Gitterstruktur neben der nullten Beugungsordnung nur noch die Minus-erste-Ordnung. Diese Beugungsordnung wird als Bragg-Reflexion bezeichnet und bildet das Grundprinzip jedes dielektrischen Spiegels.

Licht besitzt in solchen periodischen Medien neue, spezifische Ausbreitungseigenschaften, wie sie in herkömmlichen Materialien nicht angetroffen werden. Die Attraktivität dieser neuartigen Medien besteht darin, dass die Eigenschaften über die Geometrie der photonischen Kristalle eingestellt werden können. Ähnlich wie bei dem erwähnten Bragg-Gitter kann man dreidimensionale Strukturen herstellen, die in bestimmten Frequenzbereichen die Ausbreitung von Licht in allen Richtungen verbieten. Führt man nun lokale Defekte in diese Strukturen ein, kann das Licht an ihnen auf extrem kleinen Flächen lokalisiert oder entlang bestimmter Pfade geführt werden. Zukünftige Anwendungen derartiger periodischer Systeme liegen in optischen Netzwerken. Zudem besitzt Licht neue, spezifische Eigenschaften in periodischen Medien, die sich über Zusammenhänge zwischen Frequenz und Wellenzahlvektor (Dispersionsrelation) manifestieren.

Morpho Cypris, dessen Azurblau auf periodischen photonischen Nanostrukturen basiert. Im Hintergrund ist eine durch Methoden der Elektronenstrahlolithographie hergestellte Probe gezeigt.

## Natürliche Grundlagen als Vorbild

Es ist interessant, dass in der Natur solche Strukturen schon seit vielen Jahrmillionen existieren. So sind die besonderen optischen Eigenschaften des Halbedelsteins Opal, aber auch eines Schmetterlingsflügels oder der Seemaus, auf die oben genannten Grundeffekte zurückzuführen.

Die weitere Entwicklung wird die Herstellung verschiedener optischer Bauelemente auf der Grundlage derartiger periodischer photonischer Strukturen ermöglichen. Sie



können sowohl miniaturisierte Versionen bekannter optischer Elemente darstellen als auch die Implementierung neuer optischer Funktionen ermöglichen.

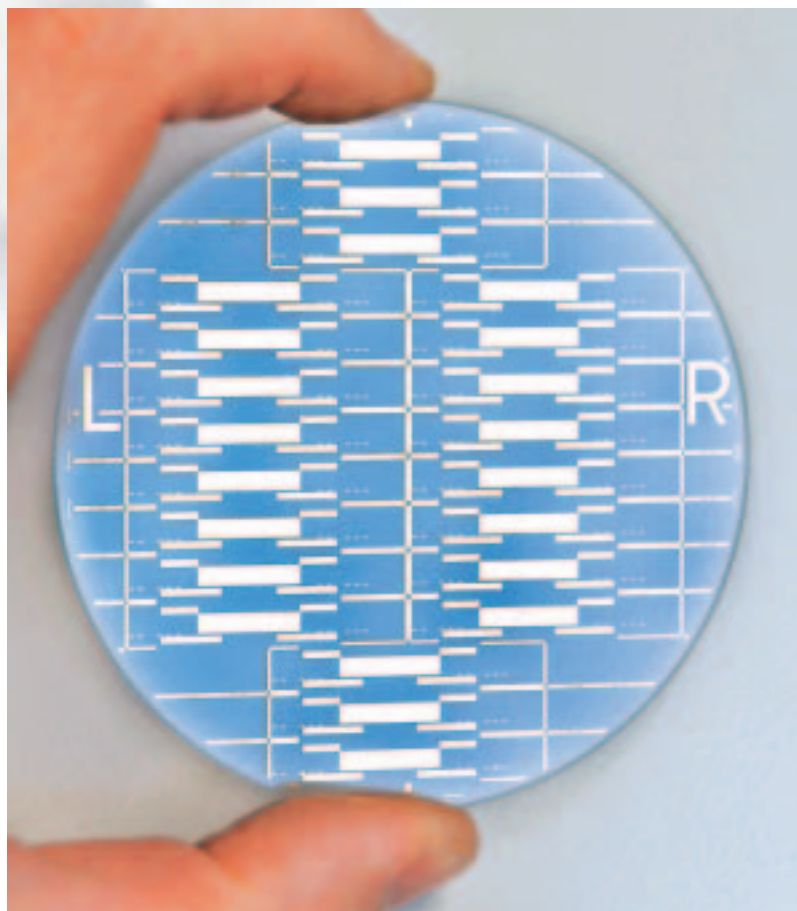
Eine andere Art künstlicher Materialien erhält man, wenn die Gitterperiode der dem Material aufgeprägten Struktur so klein gewählt wird, dass außer der Nullten keine weiteren Beugungsordnungen auftreten. Dann wirkt das Gitter als ein effektives Medium, d.h. wie eine dünne Schicht, deren Brechzahl zwischen denen der beiden beteiligten Materialien liegt.

Anwendungsbeispiele sind  $1/4$  Phasenplatten oder Antireflexoberflächen (Mottenaugenstrukturen). Metallstreifengitter mit solchen kleinen Perioden zeigen eine Aniso-

tropie der Absorption und Reflexion (Polarisationsfilter). Die Funktionsweise solcher Gitter lässt sich durch eine Betrachtung des elektrischen Feldes erklären: Bei paralleler Schwingungsrichtung kann man sich ein effektives Dielektrikum durch Parallelschaltung von Bereichen hoher und niedriger Dielektrizitätskonstante vorstellen. Schwingt das Feld senkrecht zu den Gitterstegen, ist es eine Reihenschaltung

### Künstliche Medien als Zukunft

In den nächsten Jahren ist ein Umbruch in den optischen Technologien durch den Einsatz dieser künstlichen Medien zu erwarten. Getrieben durch die verschiedenen Anwendungsgebiete existiert heute die Notwendigkeit zur Darstellung optischer Systeme mit übergreifender oder sogar vollständiger Funktionalität. Mit mikro- und nanostrukturierten optischen Komponenten stehen heute die Basiselemente für eine optische Systemtechnik bereit, die den Schritt von den diskreten Bauelementen hin zu vollintegrierten Funktionseinheiten erlaubt. ◀



SCHOTT/Jens Meyer