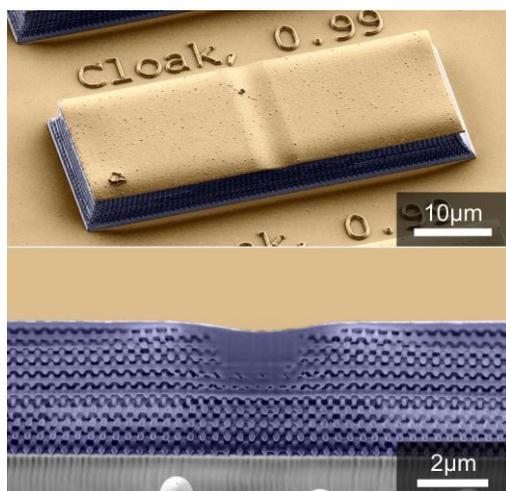


Karlsruher Tarnkappe: „Sichtbar verschwinden“

CFN-Wissenschaftler am KIT realisieren optische Tarnung im für Menschen wahrnehmbaren Bereich des Lichts



Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Tarnkappenstruktur. Das Polymer-Luft-Metamaterial (die "Holzscheite") ist blau eingefärbt, die mit Gold beschichteten Bereiche sind gelb. (Foto: CFN)

"Mit den eigenen Augen etwas Unsichtbares zu sehen, ist eine spannende Erfahrung", so Joachim Fischer und Tolga Ergin. Die beiden Physiker haben am Center for Functional Nanostructures (CFN) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in der Arbeitsgruppe von Professor Martin Wegener fast ein Jahr daran gearbeitet, die Struktur der Karlsruher Tarnkappe so zu verfeinern, dass sie auch in einem für den Menschen sichtbaren Bereich des Lichts wirkt.

Tarnkappen funktionieren, indem Lichtwellen in ihrem Material so gelenkt werden, dass sie die Tarnkappe wieder verlassen, als ob sie nie mit dem zu tarnenden Objekt in Berührung gekommen wären – das Objekt ist somit für den Betrachter unsichtbar. Die exotischen optischen Eigenschaften des Tarnmaterials werden mit komplexen mathematischen Werkzeugen berechnet, die denen der Einsteinschen Relativitätstheorie ähneln.

Monika Landgraf
Pressesprecherin

Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-47414
Fax: +49 721 608-43658

Weiterer Kontakt:

Tatjana Erkert
DFG-Centrum für Funktionelle
Nanostrukturen (CFN)
Tel.: +49 721 608-43409
Fax: +49 721 608-48496
E-Mail: tatjana.erkert@kit.edu

Erreicht werden diese durch eine spezielle Strukturierung des Tarnmaterials. Sie muss kleiner als die Wellenlänge des Lichts sein, das abgelenkt werden soll. So kann beispielsweise für die relativ großen Rundfunk- oder Radarwellen ein Material verwendet werden, "das fast mit der Nagelschere produziert werden kann", so Wegener. Bei Wellenlängen, die für das menschliche Auge sichtbar sind, müssen dagegen Materialien mit Strukturierung im Nanometerbereich hergestellt werden.

Die winzige Tarnkappe, die Fischer und Ergin nun erzeugt haben, ist kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Sie lässt eine Wölbung in einem Metallspiegel flach erscheinen und dadurch ein darunter verstecktes Objekt unsichtbar werden. Das Metamaterial, das über diese Wölbung gelegt wird, sieht wie ein Holzstapel aus, besteht jedoch aus Kunststoff und Luft. Die "Holzscheite" verfügen über präzise festgelegte Stärken im Bereich von 100 Nanometern. Durch sie werden Lichtwellen, die die Wölbung normalerweise ablenkt, so beeinflusst und geführt, dass das reflektierte Licht dem eines flachen Spiegels entspricht.

„Würden wir es noch mal schaffen, den Strukturierungsabstand des roten Tarnmantels zu halbieren, hätten wir eine Tarnkappe, die das ganze sichtbare Lichtspektrum abdeckt“, so Fischer.

Bereits im vergangenen Jahr präsentierte die Gruppe Wegener in der renommierten [Fachzeitschrift Science](#) die erste 3D Tarnkappe. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es lediglich Tarnkappen in Wellenleitern, die praktisch zweidimensional waren. Sobald man aus der dritten Dimension auf die Struktur schaute, war die Wirkung dahin. Die Karlsruher Tarnkappe konnte mit einer entsprechend filigranen Strukturierung für einen Wellenlängenbereich von 1500 bis 2600 Nanometern konstruiert werden. Dieser Wellenlängenbereich ist für das menschliche Auge noch nicht wahrnehmbar, spielt jedoch in der Telekommunikation eine große Rolle. Den Durchbruch ermöglichte das am CFN entwickelte Verfahren des Direkten Laser Schreibens (DLS). Mit diesem Verfahren können winzige 3D-Strukturen mit optischen Eigenschaften erzeugt werden, die es in der Natur nicht gibt – sogenannte Metamaterialien.

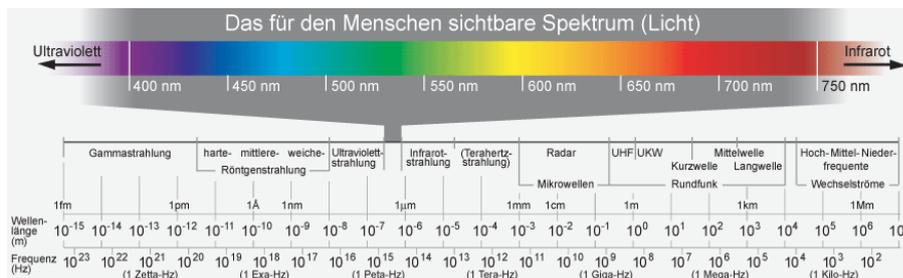
Die KIT-Wissenschaftler verbesserten im vergangenen Jahr das ohnehin schon extrem feine Verfahren des Direkten Laser Schreibens weiter. Dabei benutzten sie Methoden aus der Mikroskopie, welche dort zu fundamentalen Auflösungsverbesserungen geführt haben. Damit hatten sie das entscheidende Werkzeug zur Hand,

das Metamaterial um einen Faktor 2 zu verfeinern und so die erste 3D-Tarnkappe für unpolarisiertes sichtbares Licht im Bereich von 700 Nanometern zu realisieren. Dies entspricht der Farbe rot.

„Die nun entwickelte Tarnkappe ist ein attraktives Demonstrationsobjekt für die fantastischen Möglichkeiten, welche das recht neue Gebiet der Transformationsoptik und ihrer Metamaterialien offeriert. In den vergangenen Jahren haben sich hier Gestaltungsspielräume eröffnet, die lange für nicht möglich gehalten wurden“, so Ergin. „Wir erwarten dramatische Verbesserungen in den lichtbasierten Technologien, wie Linsen, Solarzellen, Mikroskopen, Objektiven, der Chip-Herstellung und der Datenkommunikation.“

Literatur

J. Fischer, T. Ergin, and M. Wegener, “Three-dimensional polarization-independent visible-frequency carpet invisibility cloak”, *Optics Letters*, in press



Spektrum elektromagnetischer Wellen

Quelle: Wikimedia, *Electromagnetic spectrum*, Horst Frank, Phrood, Anony, Stand 12.05.2011

URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_c.svg

Hintergrundinformation

Der Weg zur Karlsruher Tarnkappe

Hinter der „kleinen Verbesserung“ des Karlsruher Metamaterials mit großer Wirkung steckt eine Reihe von Entwicklungsschritten, die noch vor wenigen Jahren als nicht realisierbar erschienen. Bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts hielt man es noch für unmöglich, überhaupt ein Material zu entwickeln, mit dem man in der Lage ist, Licht so zu manipulieren, dass das Material wie eine Tarnkappe wirken kann. 2006 wurden in der Theorie der Transformationsoptik die Grundlagen für eine Tarnkappe erstmals beschrieben.

Aufgrund von theoretischen Berechnungen wurde begonnen entsprechendes Material künstlich zu erzeugen. Sir John B. Pendry (Imperial College, London, U.K.) und David R. Smith (Duke University, Durham, NC, USA and Imperial College, London, U.K.) publizierten im Jahr 2006 ihre Ergebnisse für eine Tarnkappe für Radarwellen, 2008 stellten Jensen Li (City University of Hong Kong, China) und Sir John B. Pendry die theoretische Idee der Teppichtarnkappe vor, 2010 präsentieren Wegener und sein Team in Karlsruhe am KIT die erste [3D-Tarnkappe](#), 2011 lassen sich die Effekte der Karlsruher Tarnkappe auch mit bloßem Auge erkennen.

Transformationsoptik

Die in den letzten Jahren entwickelte Theorie der Transformationsoptik sagt aus, dass jede beliebige gewünschte Verformung der Raum-Zeit mathematisch exakt auf ein gedachtes Material abgebildet werden kann, dessen optische Eigenschaften in einer bestimmten Art und Weise räumlich variieren. Um beispielsweise eine optische Tarnkappe zu realisieren, könnte man einen Punkt im Raum aufweiten zu einem endlich großen Volumen, in dem sich dann beliebige Objekte verstecken lassen. Die mathematischen Vorschriften der Transformationsoptik lehnen sich an die Allgemeine Relativitätstheorie an.

Direktes Laserschreiben (DLS)

Das DLS ist ein fotolithografisches Verfahren zur Herstellung beliebiger dreidimensionaler Mikrostrukturen. Im Mikroskop wird Fotolack, der über einem computergesteuerten, piezogetriebenen Tisch in drei Ebenen bewegt wird, durch das Objektiv eines stark fokussierten Laserstrahls belichtet. In dem eng umrissenen Bereich, in dem der Fotolack von dem Strahl getroffen wird, wird die Löslichkeit des Materials verändert. Je nach Art des Fotolacks werden im Entwicklungsbad die belichteten oder die unbelichteten Regionen ausgewaschen. Mit herkömmlichem DLS können Strukturgrößen von 100 nm Breite und 300 nm Höhe erreicht werden. Mit dem am CFN weiterentwickelten Ansatz kann die Höhe auf 150 nm reduziert werden, obwohl das herkömmliche DLS schon an der Grenze der physikalischen Auflösung operiert.

Metamaterialien

Metamaterialien sind künstlich hergestellte Strukturen, die sich wie ein einheitliches Material verhalten und Eigenschaften besitzen, die in der Natur nicht vorkommen. Sie sind aus gleichartigen, regelmäßig angeordneten Elementen aufgebaut, die, obwohl deutlich größer als Atome in einem Kristall, wie diese mit elektromagnetischen Wel-

len wechselwirken. Mit nanotechnologischen Methoden produzierte Metamaterialien bestehen aus so kleinen Einheiten, dass sie elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen vom Sichtbaren bis hin zum Infrarot-Licht beeinflussen können.

DFG-Centrum für Funktionelle Nanostrukturen (CFN)

Das DFG-Centrum für Funktionelle Nanostrukturen (CFN) hat sich einem wichtigen Bereich der Nanotechnologie verschrieben: den funktionellen Nanostrukturen. Ziel ist es durch exzellente interdisziplinäre und internationale Forschung Nano-Strukturen mit neuen technologischen Funktionen darzustellen sowie den ersten Schritt von der Grundlagenforschung zur Anwendung zu gehen. Zurzeit arbeiten in Karlsruhe mehr als 250 Wissenschaftler und Techniker über das CFN vernetzt in mehr als 80 Teilprojekten zusammen. Der Fokus liegt auf den Bereichen Nano-Photonik, Nano-Elektronik, Molekulare Nanostrukturen, Nano-Biologie und Nano-Energie.
www.cfn.kit.edu

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts nach den Gesetzen des Landes Baden-Württemberg. Es nimmt sowohl die Mission einer Universität als auch die Mission eines nationalen Forschungszentrums in der Helmholtz-Gemeinschaft wahr. Das KIT verfolgt seine Aufgaben im Wissensdreieck Forschung – Lehre – Innovation.

Diese Presseinformation ist im Internet abrufbar unter: www.kit.edu

Das Foto steht in druckfähiger Qualität auf www.kit.edu zum Download bereit und kann angefordert werden unter: presse@kit.edu oder +49 721 608-47414. Die Verwendung des Bildes ist ausschließlich in dem oben genannten Zusammenhang gestattet.