

Superlinse durchbricht Beugungsgrenze

Eine dünne Silberschicht bildet Details weit unterhalb der Lichtwellenlänge ab.

Die Erforschung von Materialien mit negativem Brechungsindex macht große Fortschritte. Für solche Materialien sind bei einer bestimmten Frequenz die Dielektrizitätskonstante und die magnetische Permeabilität negativ. Daraus resultieren exotische elektromagnetische Eigenschaften, die der russische Physiker Victor Veselago schon 1967 vorhergesagt hatte. Demnach werden elektromagnetische Wellen von diesen „linkshändigen“ Materialien vom Lot weg – also in die falsche Richtung – gebrochen. Und eine quaderförmige Platte aus linkshändigem Material bündelt die von einer Punktquelle ausgehenden Wellen wie eine Glaslinse das Licht.

Leider ist für herkömmliche Materialien der Brechungsindex stets positiv. Ihre Dielektrizitätskonstante kann zwar in der Nähe von bestimmten Resonanzfrequenzen negativ werden, aber ihre magnetische Permeabilität bleibt dabei positiv. Mit so genannten Metamaterialien, die z. B. aus komplizierten Anordnungen von geschlitzten Kupferringen und -drähten bestehen, hat man Veselagos Idee dennoch verwirklicht, wenn auch bisher nur im Mikrowellenbereich. Dabei zeigte sich, dass eine Platte aus Metamaterial tatsächlich Mikrowellen fokussieren kann.

Doch mit einem negativen Brechungsindex lassen sich noch ganz andere Kunststücke vollbringen. So hatte der britische Physiker John Pendry berechnet, dass eine dünne Schicht aus linkshändigem Material nicht nur die sich ausbreitenden elektromagnetischen Wellen bündelt sondern auch die normalerweise abklingenden Wellen des Nahfeldes. In der Schicht klingen diese Wellen nicht ab und die in ihnen gespeicherte Information geht deshalb nicht verloren. Dadurch wirkt eine linkshändige Schicht wie einer „Superlinse“: Sie kann die Beugungsgrenze unterschreiten und Details abbilden, die deutlich kleiner sind als die Wellenlänge des benutzten Lichtes. Eine Superlinse für UV-Licht haben jetzt Forscher von der University of California in Berkeley entwickelt.

Streng genommen besteht die Superlinse, die Xiang Zhang und seine Mitarbeiter hergestellt haben, gar nicht aus linkshändigem Material: Sie ist einfach eine 35 nm dicke Silberschicht. Doch John Pendry hatte gezeigt, dass im elektromagnetischen Nahfeld die elektrische und magnetische Wirkung eines Materials entkoppeln. Demnach wirkt eine dünne Schicht wie eine Superlinse auf das Nahfeld, wenn lediglich ihre Dielektrizitätskonstante negativ ist. Und das ist beim Silber für bestimmte Frequenzen der Fall, bei denen einfallende elektromagnetische Wellen die Leitungselektronen in der Schicht zu kollektiven Schwingungen (Oberflächenplasmonen) anregen.

Damit die Superlinse funktioniert, müssen das abzubildende Objekt, die Superlinse und das Bild sehr nah beieinander liegen. Das haben die Forscher auf folgende Weise erreicht. Zunächst haben sie eine 50 nm dicke Chromschicht auf eine Quarzunterlage aufgedampft. Mit einem fokussierten Ionenstrahl wurden dann verschiedene Muster in die Chromschicht geschrieben: parallele Linien mit einem Abstand von weniger als 100 nm und der Schriftzug

„NANO“ mit einer Linienbreite von 40 nm. Die so strukturierte Chromschicht wurde mit einer 40 nm dicken, lichtdurchlässigen Schicht aus Polymethylmethacrylat (PMMA) versiegelt. Darauf wurde eine 35 nm dicke Silberschicht aufgedampft, die schließlich mit einer Schicht aus Photolack bedeckt wurde.

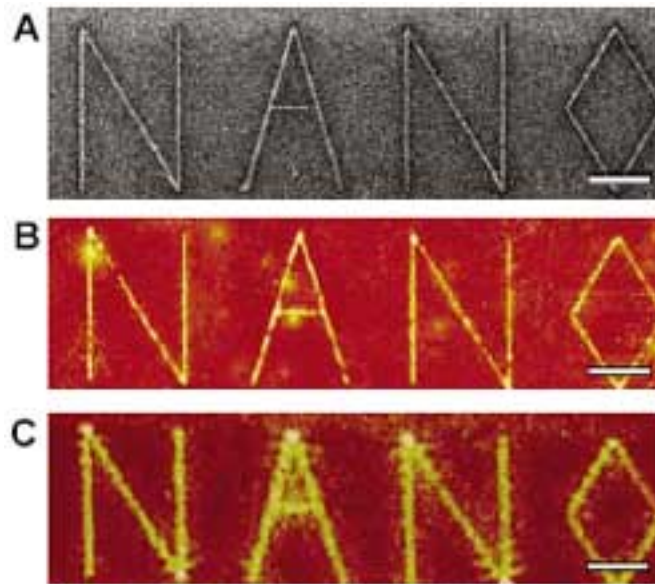


Abb.: Die Superlinse erzeugt von einem Objekt (A) ein Bild (B), dessen Details wesentlich kleiner sind als die Wellenlänge des benutzten Lichtes. Zum Vergleich das Bild ohne Superlinse (C). (Quelle: Fang et al.)

Diese Schichtfolge bestrahlten die Forscher durch die Quarzunterlage hindurch mit UV-Licht von 365 nm Wellenlänge. Das UV-Licht wurde an den Strukturen in der Chromschicht gebeugt und von der Silberschicht auf den Photolack fokussiert. Dort entstand ein Abbild der Linienstrukturen und des NANO-Schriftzuges, das nach Entwickeln des Photolacks mit einem Rasterkraftmikroskop abgetastet und sichtbar gemacht wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die Linien und der Schriftzug mit großer Präzision abgebildet worden waren. So betrug die Linienbreite des abgebildeten Schriftzuges 89 nm, während für die parallelen Linien sogar eine Auflösung von 60 nm – also ein Sechstel der Wellenlänge des benutzten UV-Lichtes – erreicht wurde.

Dass diese hohe Auflösung tatsächlich durch die Silberschicht zustande gekommen war, zeigten die Forscher mit einem Kontrollexperiment. Dazu ersetzten sie die Silberschicht durch eine entsprechend dicke PMMA-Schicht und wiederholten ihr Abbildungsexperiment. Jetzt war das Linienmuster sehr verwaschen und kaum noch zu erkennen. Und auch der NANO-Schriftzug wurde undeutlich, weil die Linienbreite jetzt auf 320 nm vergrößert war und damit etwa der UV-Wellenlänge entsprach. In weiteren Experimenten mit unterschiedlich dicken Silberschichten haben die Forscher untersucht, wie die Lichtwellen von der Silberschicht weitergeleitet und dabei verstärkt wurden. Bei einer Schichtdicke von 35 nm verstärkten die Oberflächenplasmonen jene Frequenzanteile des UV-Lichtes am besten, die die Bildinformation enthielten.

Mit ihrem Experiment haben Xiang Zhang und seine Mitarbeiter die anfangs umstrittenen Vorhersagen von John Pendry eindrucksvoll bestätigt: Es gibt also tatsächlich Superlinsen – und man kann sie praktisch für neuartige Abbildungsverfahren nutzen, die z. B. für die

Photolithographie interessant sind. Die Erkenntnisse, die bei der Erforschung von linkshändigen Materialien und dünnen Silberschichten gewonnen wurden, könnten viele interessante Anwendungen in der Optik ermöglichen.

Rainer Scharf

Weitere Infos:

- Originalveröffentlichung:
Nicholas Fang et al.: Sub-Diffraction-Limited Optical Imaging with a Silver Superlens. *Science* **308**, 534 (2005).
<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/308/5721/534/DC1>
<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/308/5721/534/DC1>
- Homepage von Xiang Zhang:
<http://www.me.berkeley.edu/faculty/zhang/>
- Spezielle Dokumente und Informationen zum Thema Beugungsbegrenzung finden Sie ganz einfach mit der [Findemaschine](#), z. B. in der Kategorie [Optik](#).

Weitere Literatur:

- *Zhaowei Liu et al.*: Rapid growth of evanescent wave by a silver superlens. *Applied Physics Letters* **83**, 5184 (2003).
<http://xlab.me.berkeley.edu/publications/...superlens.pdf> (frei!)
- *JB Pendry and SA Ramakrishna*: Refining the Perfect Lens. *Physica B* **338**, 329 (2003).
<http://www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics/abstracts/RefineLens.html> (frei!)
- *J. B. Pendry and D. R. Smith*: Reversing Light: Negative Refraction. *Physics Today* **57** (6), 37 (June 2004).
<http://www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics/abstracts/ReverseLight.html> (frei!)
- *J. B. Pendry*: Negative Refraction. *Contemporary Physics* **45**, 191 (2004).
<http://www.sst.ph.ic.ac.uk/photonics/abstracts/ContempPhys.html> (frei!)
- *R. Scharf*: Revolutionäre Linse – Bündelung statt Zerstreuung, *pro-physik.de* (2004).
<http://www.pro-physik.de/.../1,,2-4344-NEWS-0,00.html>
- Victor Veselagos Veröffentlichungen:
<http://zhurnal.ape.relarn.ru/~vgv/>
- John Pendrys Veröffentlichungen:
<http://www.cmth.ph.ic.ac.uk/photonics/references.html>
- Literaturarchiv zu Metamaterialien:
http://ceta.mit.edu/adm/LHM_Paper/index.html

© www.pro-physik.de

[\[Drucken \]](#) [\[Schließen \]](#)