

Garching, 11.11.2010

Presse-Information

Optomechanischer Transistor für Licht

Forscher an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) und am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) entdecken einen Effekt, der die rein optische Schaltung von Licht auf einem Chip ermöglicht.

Kernstück der modernen Telekommunikationstechnik ist die Möglichkeit, die Ausbreitung von Licht – dem Kommunikationsträger – gezielt zu steuern. Forscher im „Laboratory of Photonics and Quantum Measurement“ unter Leitung von Prof. Tobias J. Kippenberg (EPFL) haben jetzt ein neuartiges Prinzip entdeckt, mit dem sich dies erreichen lässt. Es basiert auf der Wechselwirkung von Licht, sprich Photonen, mit mechanischen Schwingungen, d.h. Phononen. Diese Kopplung erlaubt es, die Transmission eines Lichtstrahls durch einen Chip-basierten Mikroresonator direkt mit einem zweiten, stärkeren Lichtstrahl zu kontrollieren. Die neue Methode könnte zahlreiche Anwendungen finden, von der Telekommunikation bis zur Quanteninformationstechnologie (Science Express, 11. November 2010).

Ein entsprechender Effekt wurde bereits in der Wechselwirkung von Laserlicht mit atomaren Gasen beobachtet und wird als „elektromagnetisch induzierte Transparenz“ (EIT) bezeichnet. Mit EIT lässt sich die Ausbreitung von Licht auf beeindruckende Weise steuern: man kann damit Lichtpulse verlangsamen und sogar vollständig abspeichern. Allerdings beschränkt sich die Anwendung von EIT dabei auf Wellenlängen, die den natürlichen Anregungsenergien der Atome entsprechen. Auch lässt sich diese Methode nur schwer mit der Chipfabrikation vereinbaren.

Das neue Prinzip – gemeinsam entdeckt von einem Wissenschaftlerteam um Dr. Albert Schließer und Dr. Samuel Deléglise sowie den Physikdoktoranden Stefan Weis und Rémi Rivière – basiert auf der optomechanischen Kopplung von Lichtquanten an mechanische Schwingungen in einem optomechanischen Resonator. Die hier verwendeten Toroide werden in einem Reinraum der EPFL mit den für integrierte Halbleiterschaltkreise üblichen Verfahren der Nanofabrikation hergestellt. Sie lassen das eingefangene Licht umlaufen und wirken gleichzeitig wie ein mechanischer Oszillator, wobei sie, wie eine Stimmgabel, fest definierte mechanische Eigenfrequenzen besitzen.

Wird Licht in den Resonator eingekoppelt, dann üben die Photonen einen Strahlungsdruck auf dessen Wände aus. Schon seit Jahrzehnten wird diese Kraft eingesetzt, um Atome einzufangen und zu kühlen. Doch erst seit rund fünf Jahren nutzen die Wissenschaftler den Strahlungsdruck, um mechanische Schwingungen auf der Mikro- oder gar Nanoskala zu steuern. Diese Experimente mündeten in die Etablierung eines neuen Forschungsgebietes: der Resonator-Optomechanik, die die Photonik mit der Mikro- und Nanomechanik vereinigt. Der üblicherweise geringe Strahlungsdruck wird in einem optomechanischen Mikroresonator erheblich verstärkt und kann, indem er das Licht an die mechanischen Schwingungen koppelt, die Wände des Resonators verformen. Um die optische Durchlässigkeit des Toroids ein- bzw. auszuschalten, wird ein zweiter Laser, dessen Frequenz leicht gegen die des Signallasers verschoben ist, angekoppelt.

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit,
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0
Fax: +49(0)8932 905-200

Die Präsenz beider Laser führt zu einer Modulation der Lichtkraft bei einer Eigenfrequenz des Toroids, so dass dieser anfängt zu schwingen. Unter diesen Bedingungen verhindert ein optomechanischer Interferenzeffekt, dass das Licht des Signallasers in den Resonator gekoppelt wird. Dadurch kann der Signalstrahl den optomechanischen Schalter letztlich ungehindert passieren.

Lange Zeit konnte dieser Effekt nicht nachgewiesen werden, obwohl „wir schon seit mehr als zwei Jahren wissen, dass dieses Phänomen auftreten müsste“, meint Dr. Schließer, der dieses Verhalten schon früh aus theoretischen Modellen ableitete. „Sobald wir wussten, in welchem Frequenzbereich wir suchen müssen, haben wir den Effekt direkt gefunden“, sagt Stefan Weis, einer der Hauptautoren der Publikation. In den nachfolgenden Messungen „war die Übereinstimmung von Theorie und Experiment wirklich bemerkenswert“, fügt Dr. Deléglise hinzu.

Im Gegensatz zu der bei Atomen auftretenden EIT beruht diese neue Form der induzierten Transparenz nicht auf natürlichen Resonanzen. Sie könnte daher auf bislang unzugängliche Wellenlängenbereiche angewandt werden wie etwa dem für die Telekommunikation wichtigen Frequenzfenster im Nahen Infrarot. Mit Standardtechniken aus der mikro- und nanoskaligen Chipfabrikation gestatten optomechanische Systeme eine fast unbegrenzte Freiheit im Design. Außerdem lässt sich schon mit einem einzigen optomechanischen Element ein nahezu 100%iger Ein-Aus-Kontrast erzielen, was im atomaren Fall meist nicht möglich ist.

Der neue, von seinen Entdeckern „OMIT“ (optomechanisch induzierte Transparenz) getaufte Effekt kann die Photonik um eine Reihe von Funktionalitäten bereichern. Zukünftige auf OMIT beruhende Entwicklungen könnten die Umwandlung eines Photonenstroms in mechanische Anregungen – Phononen – ermöglichen. Eine solche Umwandlung von Radiofrequenzsignalen in mechanische Schwingungen wird zum Beispiel heute in Mobilfunkempfängern zur Schmalband-Filterung verwendet. Dieses Prinzip könnte genauso gut auf optische Signale ausgedehnt werden. Darüber hinaus könnten mit OMIT neuartige optische Zwischenspeicher verwirklicht werden, in denen optische Information bis zu mehrere Sekunden lang gehalten werden kann.

Doch auch die Grundlagenforschung kann von dieser Entdeckung profitieren: Weltweit versuchen Forschergruppen, optomechanische Systeme auf Quantenniveau zu steuern. Eine Kopplung, die sich ein- und ausschalten lässt, könnte sich als wichtige Schnittstelle in hybriden Quantensystemen erweisen.[OM]

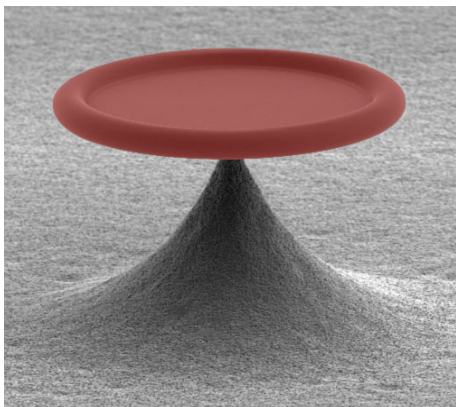


Abbildung 1:

Kolorierte Aufnahme eines Mikroresonators, an dem die OMIT-Untersuchung durchgeführt wurde, mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop. Der (oben sichtbare) rote Teil ist ein Silizium-Toroid, der gestützt wird von einer auf einem Halbleiterchip gefertigten Siliziumsäule (grau). Der Glas-Toroid ist ein exzellenter optischer Resonator für Photonen und unterstützt gleichzeitig mechanische Schwingungen. Die gegenseitige Kopplung von Photonen und Phononen kann benutzt werden, um die Ausbreitung von Licht zu steuern.

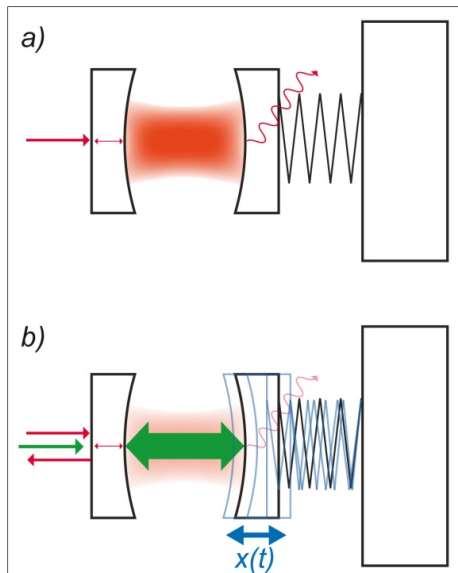


Abbildung 2:

Das Prinzip von optomechanisch induzierter Transparenz (OMIT). a) Der Signallaser (roter Strahl), der von links auf das optomechanische System trifft, koppelt in den Resonator und wird dort gestreut. b) Wenn ein zusätzlicher «Kopplungslaser» in das System gekoppelt wird (grüner Strahl), regt die Lichtkraft der beiden Laser einen Spiegel des Resonators zu Oszillationen an. Ein optomechanischer Interferenzeffekt verhindert in diesem Fall die Kopplung des größten Teils Signallichts in den Resonator, und das Signallicht wird (wieder nach links) weitergesendet.

Originalveröffentlichung:

S. Weis, R. Rivière, S. Deléglise, E. Gavartin, O. Arcizet, A. Schliesser, T.J. Kippenberg
Optomechanically induced transparency
Science (Science Express, November 11, 2010)

Kontakt:

Prof. Dr. Tobias Kippenberg

Max-Planck-Institut für Quantenoptik und Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Tel.: +41 - 79 / 5350 016

E-Mail: tobias.kippenberg@mpq.mpg.de

<http://www.mpq.mpg.de/k-lab/>