idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten, Termine, Experten

Pressemitteilung

Forschungsverbund Berlin e.V.
Anja Wirsing

14.07.2020
http://idw-online.de/de/news751108

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Elektrotechnik, Physik / Astronomie, Werkstoffwissenschaften
überregional

Hammer-on – wie man Atome schneller schwingen lässt

Schwingungen von Atomen in einem Kristall des Halbleiters Galliumarsenid (GaAs) lassen sich durch einen optisch erzeugten Strom impulsiv zu höherer Frequenz verschieben. Die mit dem Strom verknüpfte Ladungsverschiebung zwischen Gallium- und Arsen-Atomen wirkt über elektrische Wechselwirkungen zurück auf die Schwingungen.

Hammer-on ist eine von vielen Rockmusikern benutzte Technik, um mit der Gitarre schnelle Tonfolgen zu spielen und zu verbinden. Dabei wird eine schwingende Saite mit einem zweiten Finger verkürzt, um zu einem höheren Ton zu wechseln. Forscher aus Berlin und Paris haben jetzt eine analoge Methode für atomare Schwingungen in einem Kristall demonstriert. Durch einen impulsiv erzeugten elektrischen Strom lässt sich die Schwingungsfrequenz der Atome verändern. Wie sie in der neuesten Ausgabe der Zeitschrift Physical Review Letters berichten, erhöht ein durch optische Anregung mit Femtosekunden-Lichtimpulsen erzeugter Strom die Frequenz bestimmter Schwingungen des Kristallgitters, der transversal optischen (TO) Phononen.

Das Kristallgitter von GaAs besteht aus einer regelmäßigen Anordnung von Gallium- und Arsenatomen, die durch kovalente chemische Bindungen zusammengehalten werden (Abb. 1). Die Atome des Kristallgitters können eine Vielzahl von Schwingungsbewegungen ausführen, darunter die TO Phononen mit einer Frequenz von 8 THz = 8 000 000 000 000 Schwingungen pro Sekunde. Die Elektronendichte der Arsenatome ist etwas höher als diejenige der Galliumatome, was zu einem lokalen elektrischen Dipolmoment führt und das Kristallgitter elektrisch polar macht. Damit werden Schwingungsbewegungen der Atome empfindlich für elektrische Kräfte.

In den Experimenten regte ein erster ultrakurzer optischer Impuls die TO-Schwingung der Atome an. Die Schwingung wurde durch einen zweiten Impuls gestört, der Elektronen vom Valenz- ins Leitungsband des Halbleiters beförderte. Diese Anregung führt zu einer Ladungsverschiebung zwischen den Atomen, dem Verschiebestrom. Dabei wird die Elektronendichte der Galliumatome leicht erhöht und eine kurzzeitige elektrische Polarisation erzeugt. Letztere ist mit einer elektrischen Kraft verbunden, die auf die atomaren Schwingungen zurückwirkt und deren Frequenz verschiebt.

Die Messung extrem kleiner Verschiebungen der Phononfrequenz stellt eine besondere experimentelle Herausforderung dar. Hier wurde die TO-Phonon-Schwingung direkt über die THz-Welle verfolgt, welche das schwingende Dipolmoment des Kristallgitters abstrahlt. Die THz-Welle wurde zeitaufgelöst in Amplitude und Phase mit höchster Präzision vermessen (Abb. 2). Sie weist eine Frequenzerhöhung auf, nachdem der zweite Impuls den Verschiebestrom erzeugt hat. Diese Frequenzverschiebung ist in Abb. 2 an der etwas kürzeren Schwingungsperiode (rote Kurve) im Vergleich zur ungestörten Schwingung (schwarze Kurve) zu erkennen. Die Frequenz des TO-Phonons ist um 100 GHz oder ungefähr 1 % der anfänglichen Frequenz erhöht. Eine genaue Analyse der experimentellen Ergebnisse zeigt, dass es hierfür ausreicht, wenn ein Elektron pro 20000 Elementarzellen durch Photoanregung verschoben wird.

Die hier erstmals beobachtete Verschiebung der TO-Phonon-Frequenz sollte in anderen Halbleitermaterialien mit polarem Gitter und in Ferroelektrika ebenfalls auftreten.

Ausführliche Bildunterschriften

Abb. 1: Elementarzelle von Galliumarsenid (Würfel mit einer Kantenlänge von 0,56 nm [ein millionstel von 0,56 mm]) mit Galliumatomen (schwarz) und Arsenatomen (rot), die durch kovalente Bindungen (blau) zusammengehalten werden. Ein Galliumarsenidkristall besteht aus vielen Milliarden solcher Einheitszellen.

Abb. 2: Von TO-Phononen emittiertes elektrisches Feld mit (rot) und ohne (schwarz) Anregung durch einen zweiten optischen Impuls. Das elektrische Feld ist als Funktion der Zeit gezeigt. Der zweite Impuls führt zu einer Verkürzung der Schwingungsperiode was einer Frequenzerhöhung von 8 auf 8,1 THz entspricht.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI)
Dr. Michael Woerner, michael.woerner@mbi-berlin.de, Tel. 030 6392-1470
Dr. Ahmed Ghalgaoui, ahmed.ghalgaoui@mbi-berlin.de, Tel. 030 6392-1282
Prof. Dr. Klaus Reimann, klaus.reimann@mbi-berlin.de, Tel. 030 6392-1476
Prof. Dr. T. Elsaesser, thomas.elsaesser@mbi-berlin.de , Tel. 030 6392-1400

Originalpublikation:

Frequency upshift of the transverse optical phonon resonance in GaAs by femtosecond electron-hole excitation
A. Ghalgaoui, K. Reimann, M. Woerner, T. Elsaesser, C. Flytzanis, K. Biermann
Phys. Rev. Lett. 125, 027401 (2020). https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.125.027401

URL zur Pressemitteilung: https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.125.027401

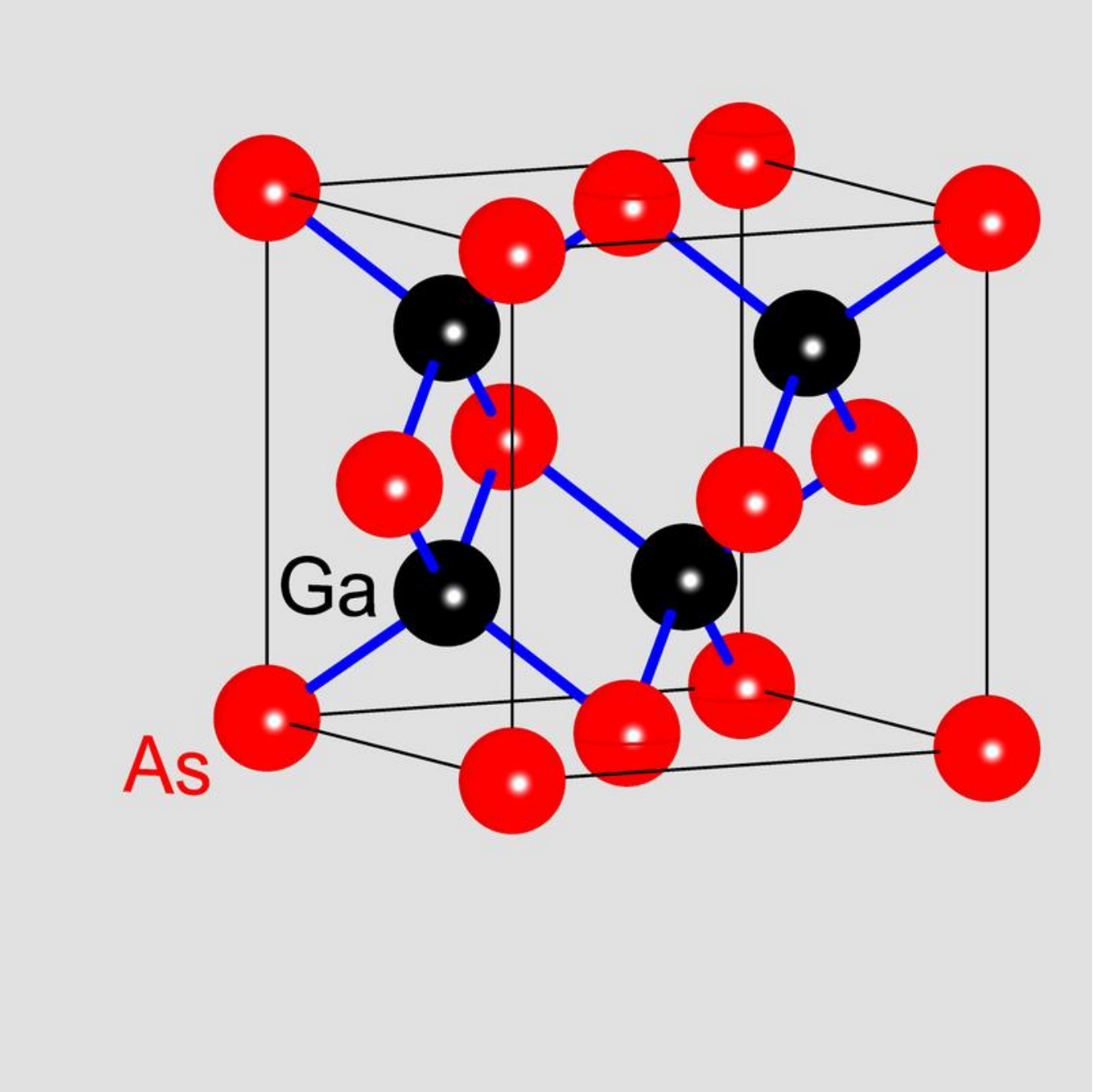

Abb. 1: Elementarzelle von Galliumarsenid mit Galliumatomen und Arsenatomen (siehe ausführliche BU)
MBI Berlin

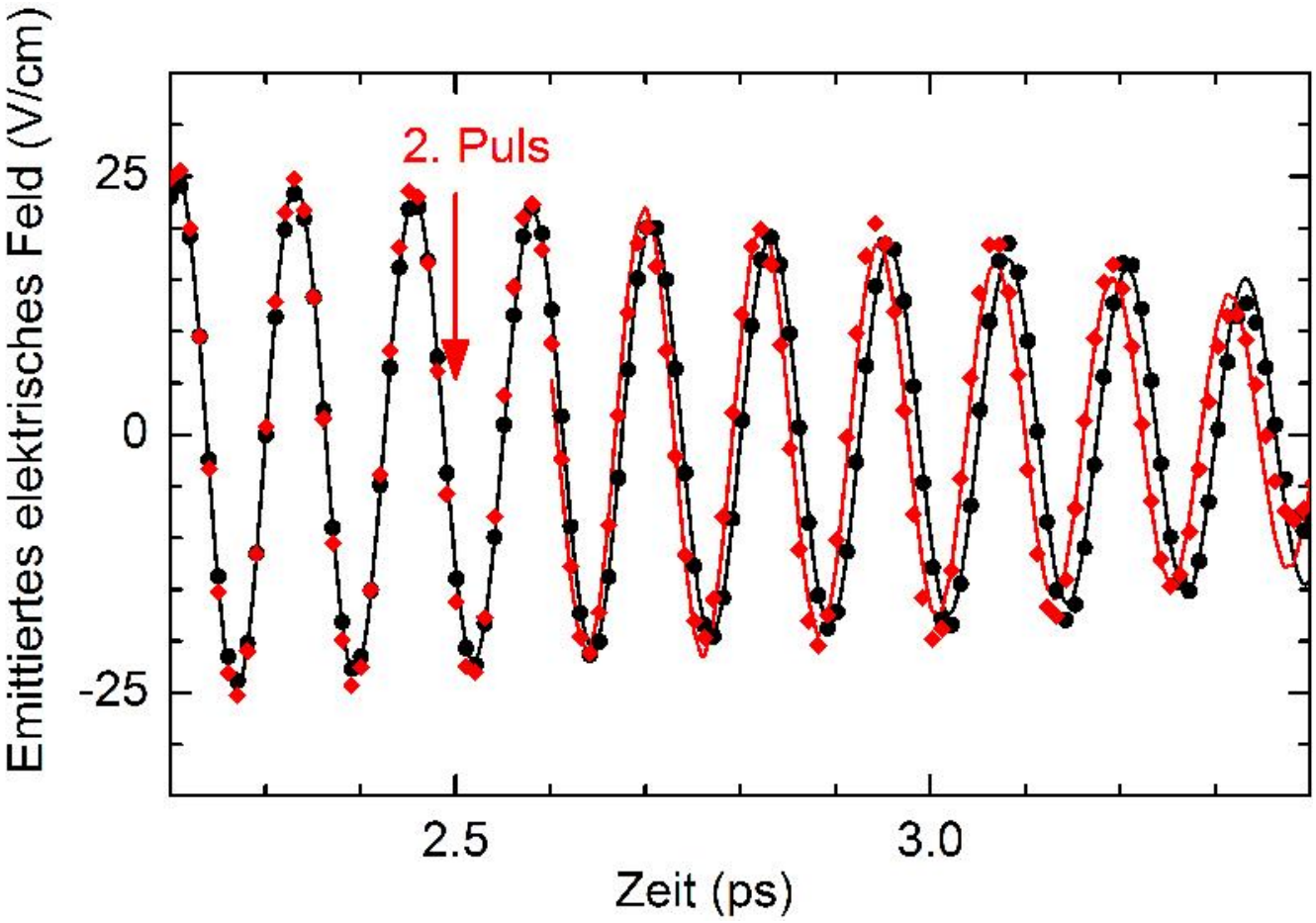

Abb. 2: Von TO-Phononen emittiertes elektrisches Feld mit (rot) und ohne (schwarz) Anregung durch einen zweiten optischen Impuls (siehe ausführliche BU).
MBI Berlin