

Wirkung von Phononen, die durch Alpha-Strahlen erzeugt werden, auf schwach gebundene Ladungsträger

N. Riehl, A. Müller und R. Wengert

Physik-Department der Technischen Universität München
(Z. Naturforsch. **28 a**, 1040–1041 [1973]; eingegangen am 10. Mai 1973)

Release of trapped charge carriers by phonons generated by alpha-particles

It was shown in previous papers that trapped charge carriers can be used at low temperatures for detection and free path determination of single phonons. Using this method it is shown now that because of the high phonon density of a phonon pulse generated by one alpha-particle the action of such phonons on trapped charge carriers is mostly a multi-phonon action so that the carriers can be released from trap depths which are much greater than the energy of a single phonon. Because of the great free paths of phonons at low temperatures this action can take place in distances up to 1 mm from the path of the alpha-particle itself.

In vorangehenden Arbeiten¹ wurde gezeigt, daß zur Freisetzung schwach gebundener Ladungsträger in Halbleiter- bzw. Phosphor-Kristallen die Einwirkung eines einzelnen Phonons ausreichen kann und daß somit solche Ladungsträger als Phononen-Detektoren bei der Bestimmung von Weglängen und Energien der Phononen dienen können. Erzeugt man im He-gekühlten Kristall nur verhältnismäßig wenige (und daher nicht untereinander wechselwirkende) aber energiereiche Phononen (etwa durch Aufprall warmer Gas-Atome auf die Kristalloberfläche), so bleibt der Kristall kalt, die energiereichen, noch nicht dissipierten Phononen haben große Reichweiten, so daß sie die im Kristall verteilten schwach gebundenen Ladungsträger erreichen und freisetzen.

Nachfolgend wird über die Anwendung dieser Methode auf diejenigen Phononen berichtet, die durch Alpha-Strahlen im Kristallgitter erzeugt werden.

Ein auf 5 K abgekühlter 1 mm dicker plättchenförmiger Saphir-Einkristall* wurde von einer Seite dauernd mit Alpha-Strahlen vom ^{240}Pu ($5 \cdot 10^7$ Teilchen pro cm^2 und sec) bombardiert. Die innerhalb der Eindringtiefe ($\approx 10 \mu$) der Alpha-Strahlen von diesen erzeugten Phononen, die bei so tiefer Temperatur Weglängen bis über 1 mm haben, konnten ohne wesentliche Dissipation durch den Kristall hindurch zur gegenüberliegenden Seite des Kristalls gelangen. Als Phononen-Detektor war auf dieser Seite ein ZnO-Phosphor in dünner Pulverschicht aufgebracht. Durch kurzzeitige Erregung des ZnO-Phos-

phors mit UV werden die in ihm vorhandenen flachen Traps mit Ladungsträgern gefüllt, die bei dieser Temperatur „eingefroren“ sind und daher kein Nachleuchten hervorbringen. Die von der anderen, alpha-bestrahlten Seite des Saphirkristalls ankommenden Phononen werden vom ZnO-Phosphor dadurch angezeigt, daß sie in ihm die eingefrorenen Ladungsträger freisetzen. Die Freisetzung manifestiert sich durch ein Leuchten des „eingefrorenen“ Phosphors und durch eine allmähliche Abnahme („Ausleuchtung“) der im Phosphor gespeicherten „Lichtsumme“.

Aus apparativen Gründen war es für uns bequemer, nicht das Aufleuchten bei Einschaltung der Phononenerzeugung (d. h. des Alpha-Bombardements) zu beobachten, sondern nur die allmähliche Abnahme der gespeicherten Lichtsumme (d. h. die Entleerung der Traps) im Verlaufe dauernd vorhandener Phononenerzeugung. — Wohlgemerkt handelt es sich hier nicht etwa um eine Ladungsträger-Freisetzung durch gewöhnliche Aufwärmung des Phosphors, denn für eine merkliche Temperaturerhöhung ist der Phononenfluß um viele Größenordnungen zu schwach. Vielmehr kann die Freisetzung allein durch die nicht dissipierten energiereichen Phononen zustandekommen, die den ansonsten kalten Kristall durchsetzen.

Die erwartete Abnahme der gespeicherten Lichtsumme trat tatsächlich ein. (Womit erstmalig eine Wirkung der von Alpha-Strahlen erzeugten Phononen weit außerhalb der Alpha-Teilchenbahnen demonstriert ist.)

Diese Abnahme wurde ermittelt, indem eine Glowkurve der ZnO-Phosphorschicht einmal vor Beginn der Phononen-Einwirkung (Alpha-Bestrahlung) und einmal nach fünf Minuten Alpha-Bestrahlung aufgenommen wurde (Abb. 1 a). Die ursprüngliche Glowkurve zeigt 4 Glowpeaks bei 8, 17, 41 und 70 K, was 4 Trap-Sorten mit den Traptiefen von etwa 0,013, 0,03, 0,07 und 0,12 eV entspricht. Die nach der Phononen-Einwirkung (Alpha-Bestrahlung) aufgenommene Glowkurve zeigt fast gar keinen 8 K-Peak mehr und wesentlich abgeschwächte Peaks bei 17 und 41 K. Sogar der Peak bei 70 K erweist sich als merklich abgeschwächt, obwohl die ihm entsprechenden Traps eine viel zu große Tiefe ($> 0,1$ eV) haben, um durch einzelne Phononen entleert zu werden; die maximale Energie der LA-Phononen in ZnO beträgt nämlich nur etwa 0,035 eV, und selbst die Energie optischer Einzelphononen würde nicht ausreichen, um so tiefe Traps zu entleeren.

Der Effekt der Einwirkung von Phononen, die durch Alpha-Strahlen erzeugt sind, unterscheidet sich

Sonderdruckanforderungen an Prof. Dr. N. Riehl, Physik-Department der Techn. Universität München, D-8000 München 2, Arcisstraße 21.

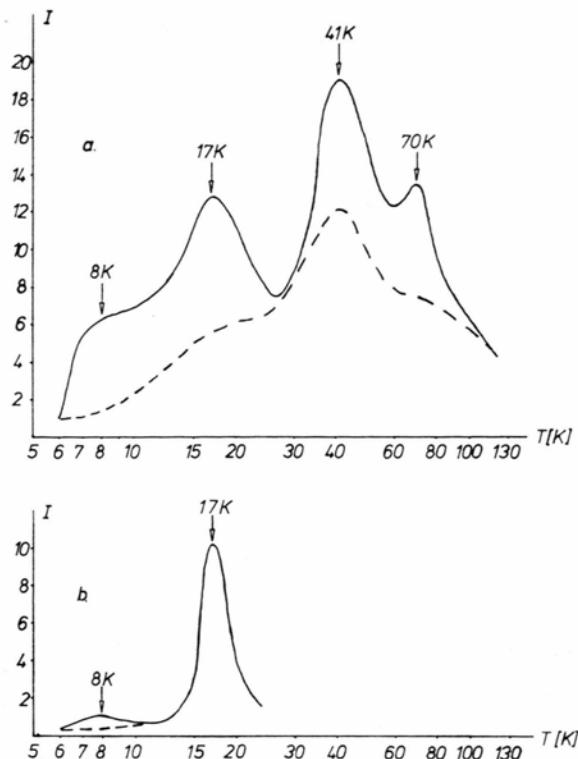


Abb. 1. a) Glowkurven vor und nach Einwirkung der durch Alpha-Teilchen erzeugten Phononen. Ausgezogene Kurve — vor Phononen-Einwirkung, gestrichelte Kurve — nach Phononen-Einwirkung. b) Zum Vergleich: Glowkurven vor und nach Einwirkung von Phononen, die durch Bombardement mit warmen Gas-Atomen erzeugt waren.

also auffallend von demjenigen, den wir seinerzeit mit Phononen erhielten, welche durch Aufprall warmer Gas-Atome auf die Kristalloberfläche erzeugt waren¹. Wie aus Abb. 1 b ersichtlich, wurden dort nämlich durch die LA-Phononen nur die flachsten Traps, die dem 8 K-Peak entsprechen, entleert, während bereits die nächsttieferen Traps erwartungsgemäß gefüllt blieben. Die demgegenüber unterschiedliche Wirkung der durch Alpha-Strahlen erzeugten Phononen läßt sich verstehen, wenn man bedenkt, daß ein einzelnes Alpha-Teilchen eine sehr große Anzahl (etwa 10^8) Phononen innerhalb eines kleinen Volumens und einer äußerst kurzen Zeit erzeugt. Bei so hoher lokaler Dichte des von einem Alpha-Teilchen erzeugten Phononen-Pulses muß die Wahrscheinlichkeit von kollektiven Wirkungen mehrerer Phononen („Multiphononen-Prozessen“) sehr groß werden. Die Entleerung von Traps, deren energetische Tiefe die der Phononenenergie übersteigt, kann also auf Multiphononen-Prozesse zurückgeführt werden. Möglicherweise muß auch eine Mitwirkung von „Solitonen“ (einer räumlichen Zusammenziehung sehr intensiver Phononen-Pulse²) in Betracht gezogen werden. Jedenfalls offenbart sich hier eine Besonderheit der von Alpha-Teilchen ausgehenden dichten Phononen-Pulse.

* Auch mit einem Quarzkristall wurden analoge Versuche durchgeführt.

¹ N. Riehl u. A. Müller, Physics Letters **36 A**, 487 [1971]. — N. Riehl, G. Baur, A. Müller u. U. Puchner, Phys. Stat. Sol. **14**, 453 [1972].

² V. Narayananamurti u. C. M. Varma, Phys. Rev. Letters **25**, 1105 [1970].