

ist, zeigt folgende Abschätzung für eine Schraubenversetzung, die senkrecht zur reflektierenden Netzebene verläuft. Die wahre Ausdehnung der Pünktchen, z. B. in Abb. 2b beträgt auf der Kristalloberfläche ca. 20 bis 30  $\mu$ , d. h. 40 000 bis 60 000 Atomabstände. Eine Schraubenversetzung mit der Versetzungsstärke einer Gitterkonstanten würde im Abstand von 15  $\mu$  vom Versetzungskern eine Fehlorientierung von ca. 0,9° besitzen, was mit unserer Anordnung gerade noch nachweisbar ist\*.

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß in zahlreichen Fällen auch Störungen beobachtet wurden, denen sich direkt keine Ätzstippen zuordnen lassen. Ein Beispiel zeigt Abb. 3, wo wieder ein Röntgen-Bild und ein lichtmikroskopisches Bild der gleichen Kristallstelle wiedergegeben ist. Während sich im oberen Teil eine Zuord-

nung wenigstens teilweise durchführen läßt, sind unten auf dem Röntgen-Bild die Pünktchen fast durchweg an anderen Stellen als die Stippen. Außerdem sind auf dem Röntgen-Bild (Abb. 3 und 4) einige „strichförmige“ Gitterstörungen vorhanden (Pfeil!). Da derartige „Striche“ fast immer in den Richtungen (011), (101) und (110) beobachtet wurden, wird geschlossen, daß sie zu dicht unterhalb und parallel zur Oberfläche verlaufenden Versetzungen gehören. Aus der Unmöglichkeit, eine eindeutige Zuordnung zwischen Röntgen-Bild und Ätzbild in allen Fällen durchzuführen, folgt, daß im Kristall allgemein mehr Versetzungen vorhanden sind, als sich allein auf Grund der Ätzung ergibt. Dies ist schon von anderen Verfassern damit erklärt worden, daß Versetzungslinien nicht angeätzt werden, wenn sie allzu schräg die Oberfläche durchstoßen. Die vorliegenden Beobachtungen bestätigen diese Annahme.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Unterstützung mit Apparaten.

## Zur Phasenlage der Leuchtwellen-Nebenmaxima der Elektrolumineszenz

VON DIETRICH HAHN und F.-W. SEEMANN \*

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt)  
(Z. Naturforschg. 13 a, 349—350 [1958]; eingeg. am 3. März 1958)

Das Auftreten sekundärer oder Nebenmaxima (das sind zweite Lichtblitze pro Halbwelle des Feldes) bei sinusförmiger Anregung ist schon häufig beschrieben worden<sup>1-5</sup>. Die Phasenlage dieser Nebenmaxima wird übereinstimmend beim Nulldurchgang des Sinusfeldes beobachtet. Darüber hinaus haben wir in einer früheren Arbeit<sup>6</sup> die Nebenmaxima speziell bei Rechteckanregung untersucht und ihre Entstehung als Folge von Polarisationserscheinungen di- und par-elektrischer Natur experimentell nachgewiesen. Bezüglich ihrer Phasenlage konnten wir die genaue Gleichzeitigkeit der Abklingflanke des anregenden Impulses mit dem Beginn der Anklingung des Nebenmaximums unabhängig von Temperatur und Frequenz feststellen.

Bei Sinusanregung dagegen haben wir in Übereinstimmung mit den genannten Autoren eine Temperatur- und Frequenzabhängigkeit der Phasenlage der Nebenmaxima beobachtet. Bei Erwärmung wandern die Nebenmaxima häufig nicht nur, wie dort beschrieben wird, von der ansteigenden Flanke eines Hauptlichtblitzes auf die abfallende des vorhergehenden (also durch das zwischen beiden Flanken liegende Minimum hindurch<sup>3,5</sup>), sondern scheinen innerhalb eines kleinen Temperaturintervalls von wenigen Grad auch an einer Flanke hin-

auf, über das Hauptmaximum hinweg und an der anderen Flanke wieder hinabzuwandern (Abb. 1). Im letzten Teilbild (Abb. 1f) sieht es sogar so aus, als hätte das Nebenmaximum nach dem Durchlaufen des Temperaturintervalls von 8 Grad eine Phasenverschiebung von ca.  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge des anregenden Feldes in positiver Zeitachsenrichtung erlitten.

Diese scheinbare große Phasenverschiebung, die sich durch Polarisationserscheinungen kaum deuten ließe, ist nun, wie das mitphotographierte Koordinatennetz auf den Bildern sofort deutlich erkennen läßt, eine optische Täuschung. Bei Betrachtung der Leuchtwellen allein (ohne Koordinatennetz) entsteht sie dadurch, daß man immer das *kleinere* Maximum als Nebenmaximum anspricht. Richtiger dürfte die Auffassung sein, daß unabhängig von seiner Größe immer derjenige Lichtblitz als Nebenmaximum zu bezeichnen ist, der zeitlich in der Nähe bzw. kurz vor dem Nulldurchgang der Spannung liegt. In Abb. 1a—c ist, wie üblich, das größere Maximum pro Halbwelle der Hauptlichtblitz. In Abb. 1d—f dagegen sind die Nebenmaxima größer als die Hauptmaxima, welche im letzten Bild nur noch andeutungsweise als kleine Inflexionen — den Spannungsextrema wie üblich zeitlich etwas vorausseilend — erscheinen.

Das so durch seine Phasenlage definierte Nebenmaximum erfährt außer dieser scheinbaren auch eine echte temperaturabhängige Phasenverschiebung. Die Verschiebung erfolgt bei Erwärmung entgegen der Richtung der Zeitachse und ist in der Figur deutlich zu erkennen: die Nebenmaxima in Abb. 1c eilen nämlich 1,5 Rasterleistriche, die in Abb. 1f 2,5 Teilstriche dem Null-

\* Berlin-Charlottenburg.

<sup>1</sup> G. DESTRIAU u. H. F. IVEY, Proc. Instn. Radio Engrs 43, 1911 [1955].

<sup>2</sup> H. GOBRECHT, D. HAHN u. F.-W. SEEMANN, Z. Phys. 140, 432 [1955].

<sup>3</sup> C. H. HAAKE, J. Appl. Phys. 28, 117 [1957].

<sup>4</sup> H. A. KLASSENS, Intern. Koll. über Halbleiter u. Phosphore, Garmisch 1956.

<sup>5</sup> J. MATTLER, J. Phys. Radium 17, 725 [1956].

<sup>6</sup> D. HAHN u. F.-W. SEEMANN, Z. Phys. 149, 486 [1957].



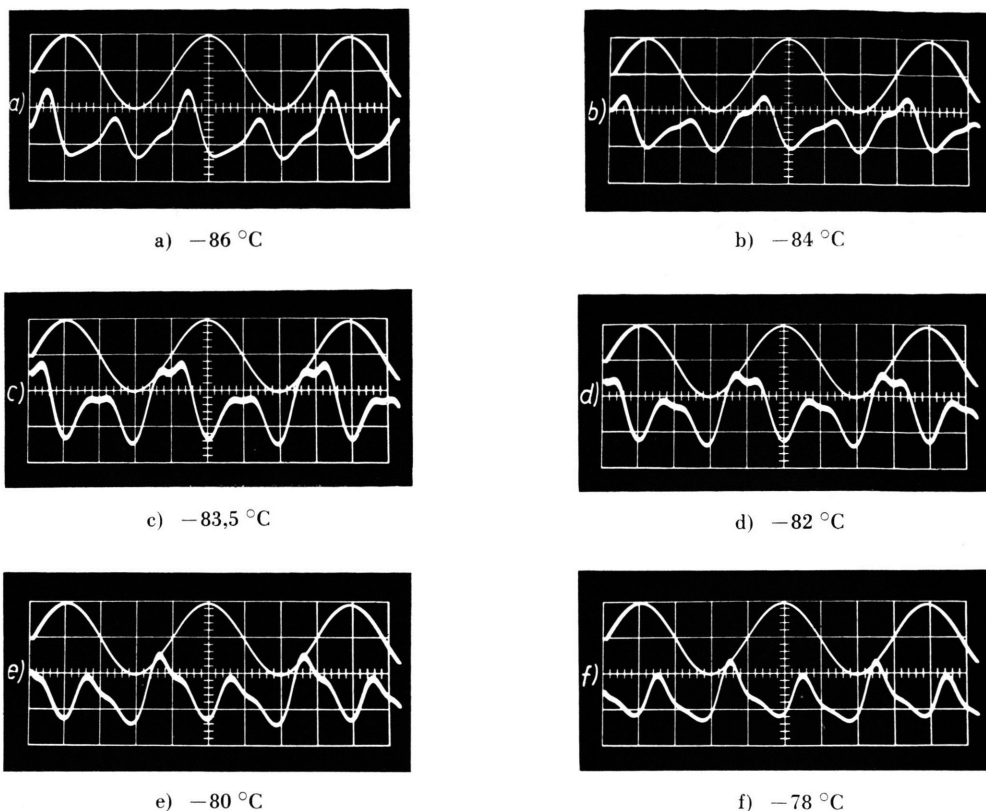


Abb. 1. Scheinbare Verschiebung der Nebenmaxima bei ZnS Cu Cl (5 kHz, 150 V).

durchgang des Feldes voraus. Dies kann man durch die Annahme deuten, daß mit zunehmender Temperatur die Entleerung der Haftstellen und damit die Zerstörung des Polarisationsfeldes schneller erfolgt. Umgekehrt ruft eine Frequenzerhöhung bei konstanter Temperatur eine geringfügige Verschiebung der Nebenmaxima in Richtung der Zeitachse hervor<sup>3</sup>, weil jetzt die Haftstellenentleerung und die damit einhergehende Polarisationszerstörung wegen der kürzeren Periodendauer bei späterer Phase erfolgt.

In der oben erwähnten Arbeit<sup>6</sup> hatten wir auf Grund von Experimenten mit getrennten, entgegengesetzt gepolten Rechteckimpulsen die Nebenmaxima als Wirkung des im Kristall entstehenden Polarisationsfeldes aufgefaßt. Einen Beweis hierfür erblickten wir u. a. darin, daß die Nebenmaxima bei hohen Temperaturen durchweg verschwanden und bei Abkühlung besonders ausgeprägt in Erscheinung traten. Diese Beobachtung steht

in gutem Einklang mit der Erwartung, weil bei Temperaturerhöhung eine Orientierungspolarisation im allgemeinen durch die desorientierende Wärmebewegung, eine dielektrische Polarisation im vorliegenden besonderen Falle der Kristallphosphore durch eine Dipolzerstörung infolge der Haftstellenentleerung aufgehoben wird. Den Ergebnissen und Deutungsversuchen der genannten Arbeit<sup>6</sup> möchten wir an dieser Stelle ergänzend die Beobachtung hinzufügen, daß bei gewissen Phosphoren durch starke Abkühlung bis zur Temperatur der flüssigen Luft die Nebenmaxima wieder zum Verschwinden gebracht werden können. Diese Erscheinung könnte — analog dem Einfrieren der Polarisation bei Elektreten — damit erklärt werden, daß bei Anliegen eines *Wechselfeldes* die elementaren Dipole, in verschiedenen Polarisationsrichtungen statistisch verteilt, bezirksweise erstarren, so daß schließlich keine Polarisationswirkung mehr nach außen hin auftritt.