

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Frage, weshalb überhaupt bei dünnsten Metallschichten RÖNTGEN-Strahlinterferenzen auftreten können und warum die (infolge der geringen Streuzentrenzahl von der Wellentheorie geforderte) nachhaltige Linienverbreiterung ausbleibt. Dieses eigenartige Verhalten kann möglicherweise durch Annahmen erklärt werden, wie sie dem BORRMANN-Effekt<sup>3</sup> (v. LAUE<sup>4</sup>, 1960) zugrunde liegen. Bei diesem Effekt wurde an großen, störungsfreien

Einkristallen beobachtet, daß der RÖNTGEN-Strahlweg innerhalb des Kristalls parallel zu den reflexionsfähigen Netzebenen verläuft; an der Austrittsfläche des Kristalls spaltet schließlich der Strahl in zwei Komponenten gleicher Intensität auf; einer der Teilstrahlen folgt der Einfallrichtung, der andere der Reflexionsrichtung. Innerhalb der dünnsten Schichten und Kriställchen müßte dann ein ähnlicher Lichtweg postuliert werden. Doch sind weitere Untersuchungen erforderlich.

<sup>3</sup> G. BORRMANN, Phys. Z. **42**, 157 [1941] und Z. Physik **127**, 297 [1950].

<sup>4</sup> M. v. LAUE, Röntgenstrahlinterferenzen, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt a. M. 1960.

## Über eine Anomalie des elektrischen Widerstandes von Nickelhydrid bei tiefen Temperaturen

H. J. BAUER und K. H. W. BAUER

Sektion Physik der Universität München

(Z. Naturforschg. **22 a**, 575–576 [1967]; eingeg. am 27. Februar 1967)

Ergänzend zu früheren Arbeiten<sup>1–3</sup> über die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes beim System Nickel–Wasserstoff<sup>4</sup> haben wir den Bereich zwischen 4° und 20° K genauer untersucht<sup>5</sup>. Wir fanden, wie aus Abb. 1 hervorgeht, bei Nickelhydrid (dessen vollständige Ausbildung im Atomverhältnis H/Ni  $\geq 0,7$  durch Widerstandsmessung während der einmaligen elektrolytischen Wasserstoffbeladung von Ni gewährleistet war<sup>3</sup>) gegenüber Nickel bei 10° K ein deutliches Minimum des elektrischen Widerstandes. Durch private Mitteilung wurde uns bekannt, daß BARANOWSKI u. Mitarb. an vor allem mit gasförmigem Wasserstoff von hohem Druck erzeugtem Nickelhydrid<sup>6</sup> ein entsprechendes Widerstandsminimum bei etwa 18° K festgestellt haben.

Dieser Widerstandsverlauf ist insofern von Interesse, als z. B. bei Kupfer<sup>7</sup> (oder Gold und Silber<sup>8</sup>) im gleichen Temperaturbereich Widerstandsminima beobachtet wurden. Als Ursache mußten in allen Fällen geringfügige Verunreinigungen angesehen werden.

Das in der vorliegenden Untersuchung benützte Nickel (6  $\mu$  dicke kaltgewalzte Folie der Vacuumschmelze Hahnau) war mit  $\leq 0,01\%$  Fe, 0,001% Cu, 0,002% Al, 0,01% C und einer Spur Mg verunreinigt; es zeigte jedoch – wie erwähnt – kein Minimum.

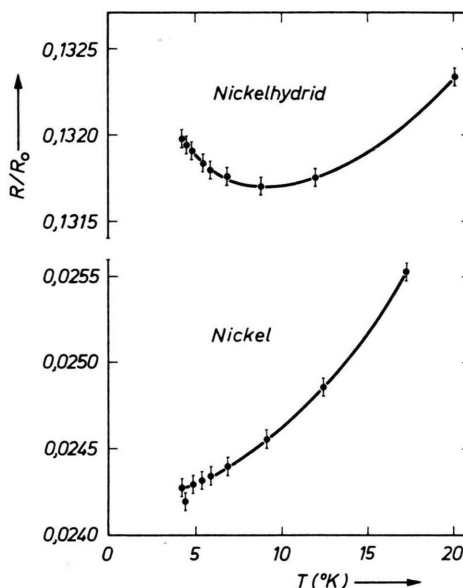


Abb. 1. Elektrischer Widerstand einer 6  $\mu$  dicken Nickelfolie bei tiefen Temperaturen vor und nach 12-stündiger Beladung mit Wasserstoff (oben).  $R_0$  Widerstand von Ni bei 20° C.

Die Frage, ob Wasserstoffeinlagerung erst in Verbindung mit Verunreinigungen oder evtl. allein durch verbleibende Gitterstörungen auf Grund unvollständiger Wasserstoffbeladung zur Ausbildung des Widerstandsminimums führt, konnte nicht entschieden werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß z. B. bei Gold ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Mini-

<sup>1</sup> H. J. BAUER, Z. Phys. **177**, 1 [1964].

<sup>2</sup> B. BARANOWSKI, Acta Met. **12**, 322 [1964].

<sup>3</sup> H. J. BAUER u. U. THOMAS, Z. Naturforschg. **21 a**, 2106 [1966]. Wasserstoffbeladung nach einem bekannten Verfahren<sup>4</sup> in 0,1-n.  $H_2SO_4$  mit einem Zusatz von 0,2 g  $CS(NH_2)_2$  pro Liter Lösung bei einer Stromdichte von 20 mA/cm<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> B. BARANOWSKI u. M. SMIALOWSKI, Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. Sci. Chim. **7**, 663 [1959].

<sup>5</sup> Zur Temperaturmessung im Heliumkryostaten wurde ein Kohleschichtwiderstand (100  $\Omega$ , Allen-Bradley, USA) verwendet. Als Fixpunkte für die Eichung dienten die Siede-

punkte von Helium und Wasserstoff (vgl. SCOTT, "Cryogenic Engineering", D. van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey). Die Interpolation der Eichkurve erfolgte mit Hilfe des Telefunkenrechners TR4 des Leibniz-Rechenzentrums der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

<sup>6</sup> B. BARANOWSKI u. R. WISNIEWSKI, Bull. Acad. Polon. Sci., Sér. Sci. Chim. **14**, 273 [1966].

<sup>7</sup> D. K. C. MACDONALD u. W. B. PEARSON, Proc. Roy. Soc. London A **219**, 373 [1953]; **221**, 534 [1954].

<sup>8</sup> W. J. DE HAAS, H. B. G. CASIMIR u. G. J. VAN DEN BERG, Physica **5**, 225 [1938].





mumstemperatur und Restwiderstand besteht<sup>8</sup>, und zwar in dem Sinne, daß mit abnehmendem Restwiderstand auch das Minimum zurückgeht. So läßt unsere frühere Beobachtung<sup>1</sup> eines durch Wasserstoffbeladung von weniger reinem Nickel (mit<sup>9</sup> 0,2% Fe, 0,5% Cu, 0,3% Mn, 0,06% Co) verursachten vergleichsweise großen Restwiderstandes einen Zusammenhang zwischen diesem und der Minimumstemperatur auch beim vorliegenden System vermuten.

<sup>9</sup> Für die Analyse nach der RÖNTGEN-Fluoreszenzmethode haben wir Herrn Dipl.-Phys. H. HANSMEIER zu danken.

### Frequency Range of the Microwave Emission from InSb<sup>1</sup>

D. K. FERRY<sup>2</sup>, R. W. YOUNG<sup>3</sup>, and A. A. DOUGAL

Department of Electrical Engineering, Univ. of Texas,  
Austin, USA

(Z. Naturforsch. 22 a, 576 [1967]; received 4 March 1967)

Experimental studies on the radio frequency emission from InSb under the influence of electric and magnetic fields in the range of 10 MHz to 10 GHz are presented.

Studies were made of the frequency spectrum of the low field microwave emission from indium antimonide<sup>4, 5</sup> in a frequency range from a few megahertz up to ten gigahertz, showing that the emission is much broader than had earlier been assumed<sup>6</sup>. Samples of indium antimonide were mounted as center conductor of a coaxial transmission line which was connected to a spectrum analyzer used as a microwave receiver, and pulsed electric and magnetic fields were applied to the samples in an ambient temperature of 77 °K.

The broadband emission occurs first at lower frequencies for lower values of the applied fields than for higher frequencies; that is, the threshold for emission is lower for lower output frequencies. Concurrently, the emission is considerably stronger at the lower frequencies for constant applied fields. The spectrum of the emission from InSb for frequencies in the range of 10 MHz to 10 GHz is shown in Fig. 1. There appears to be a primary peak in the emission near 11 MHz, with the output decreasing rapidly at higher frequencies. The output power at the microwave frequencies is almost three orders of magnitude weaker than this low frequency peak. The decrease of output with frequency does not appear to be monotonic, as there is considerable structure to the curve. It is of considerable interest to note that the data at X-band agrees quantitatively with that obtained earlier using a microwave receiver<sup>5</sup>.

Zum vollen Verständnis der beobachteten Widerstandsanomalie sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Herrn Prof. FAESSLER danken wir für die Bereitstellung von Institutsmitteln. Herrn Prof. BARANOWSKI sind wir für wertvolle Diskussion verbunden. Dem Forschungslabor der Siemens AG verdanken wir die Möglichkeit zu den Messungen bei tiefen Temperaturen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet.

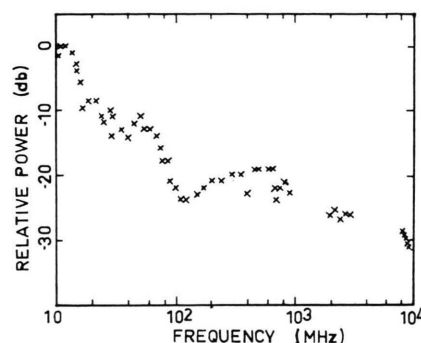


Fig. 1. Frequency spectrum of the microwave emission from indium antimonide, taken with a spectrum analyzer used as a microwave receiver. The curve was taken with an applied transverse magnetic field of 5 kG and an electric field of 100 volts/cm.

In studying the microwave radiation from InSb, it was observed that for certain samples, weak emission was detected over a range of electric fields in the absence of any magnetic field<sup>7</sup>. For a typical sample the emission would occur for a range of electric field from 6–8 volts/cm to 50 volts/cm with a peak near 20 volts/cm. In samples which exhibited this behavior, the more usual microwave emission for both electric and magnetic fields was also observed. The fields involved and broadbandness of the emission categorize the emission as similar to the low field emission under study, but it is not clear at this time how this magnetic field independent emission is connected to the field dependent emission.

The microwave emission observed previously appears to be only a portion of the total spectrum of a very broadband emission from InSb. This broadband spectrum and the emission without a magnetic field shed new insight on the requirements for an adequate theoretical basis.

<sup>1</sup> Research supported by U.S. Joint Services Electronics Program under Grant AF-AFOSR-766-66.

<sup>2</sup> Present address: II. Physikalisches Institut, Universität Wien, Austria.

<sup>3</sup> Present address: Universität München, Germany.

<sup>4</sup> S. J. BUCHSBAUM, A. G. CHYNOWETH, and W. L. FELDMAN, Appl. Phys. Letters 6, 67 [1965]; J. Appl. Phys. 37, 2922 [1966].

<sup>5</sup> D. K. FERRY, R. W. YOUNG, and A. A. DOUGAL, J. Appl. Phys. 36, 3684 [1965].

<sup>6</sup> R. D. LARRABEE and W. A. HICINBOTHEN, JR., IEEE Trans. on Electron Devices ED-13, 121 [1966].

<sup>7</sup> D. K. FERRY, R. W. YOUNG, and A. A. DOUGAL, a preliminary report was presented at the Conf. on Phys. of Semicond. Compounds, Univ. Coll. of Swansea, Wales, Sept. 21–23, 1966.