

## Tunnelprozesse am Halbleiter-Supraleiter-Kontakt

Von F. GSCHWEND, H. P. KLEINKNECHT, W. NEFT  
und K. SEILER

Institut für Theoretische und Angewandte Physik  
der Technischen Hochschule Stuttgart

(Z. Naturforsch. **18 a**, 1366 [1963]; eingegangen am 28. Oktober 1963)

GIAEVER u. a.<sup>1-5</sup> haben die Zustandsdichte in Supraleitern mit Hilfe des Tunnelns von Elektronen durch eine dünne Potentialschwelle in einen Supraleiter hinein untersucht. Als Potentialschwelle dient dabei eine ca. 20 Å dicke Oxydschicht, die zwei Metalle voneinander trennt und durch die beim Anlegen einer Spannung ein Tunnelstrom fließt. Wir haben als Potentialschwelle eine Verarmungsrandschicht an einem Metall-Halbleiterkontakt benutzt. Auf hochdotierte n-Ge-Einkristalle ( $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  Ohm cm) wurden Pb-Pillen von etwa  $\frac{1}{2}$  mm Durchmesser bei Temperaturen zwischen 400 °C und 600 °C aufgelegt. Hohe Dotierung ist nötig, damit die Potentialschwelle genügend dünn ist und durchtunnelt werden kann und der Bahnwiderstand beim Abkühlen unter den Sprungpunkt von Pb nicht zu hoch wird.

In Abb. 1 sind die Strom-Spannungskennlinien eines solchen Kontakts bei Temperaturen über und unter dem Sprungpunkt von Pb wiedergegeben. Die Kurven sind ähnlich denen, die GIAEVER u. a.<sup>1, 2, 4</sup> bei den oben genannten Experimenten zwischen einem normalleitenden und einem supraleitenden Metall gemessen haben.

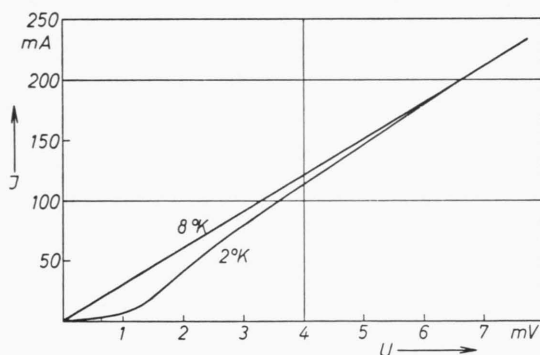


Abb. 1. Strom-Spannungskennlinie eines Ge-Pb-Kontaktes im normal- und supraleitenden Zustand des Bleis.

Der Kurvenverlauf wurde dort an Hand des einfachen Quasi-Teilchen-Modells ausführlich erklärt. Danach ist die Steigung der Strom-Spannungskurven, die diffe-

rentielle Leitfähigkeit, bei kleinen Spannungen und für  $T=0$  proportional der Zustandsdichte der Elektronen im Supraleiter. Nach der BARDEEN-COOPER-SCHRIEFFERSchen Theorie<sup>6</sup> wird im Blei beim Übergang in den supraleitenden Zustand eine verbotene Zone gebildet und damit in der Nähe der FERMI-Kante die Zustandsdichte drastisch geändert, was eine Erhöhung des Nullpunktwiderstandes des Kontakts zur Folge hat. Die entstehende Bandlücke ist andererseits so klein, daß in deren Bereich die Zustandsdichte im Halbleiter als konstant angenommen werden kann. Wegen der Symmetrie der Zustandsdichte im Supraleiter in bezug auf das FERMI-Niveau müssen beide Polungen die gleiche  $I-U$ -Kurve ergeben, was bei niedrigen Spannungen auch der Fall ist. Bei größeren Spannungen dagegen weichen die beiden Kurven voneinander ab. Die aus Abb. 1 berechnete relative differentielle Leitfähigkeit (Leitfähigkeit des supraleitenden Zustands : Leitfähigkeit des normalleitenden Zustands) gibt im wesentlichen den Verlauf der Zustandsdichte im Blei in der Umgebung der verbotenen Zone wieder (Abb. 2). Die halbe Breite der verbotenen Zone im Supraleiter erhält man daraus näherungsweise aus Abb. 2 für  $(dI/dU)_{\text{rel.}} = 1$  zu  $\epsilon_{\text{Pb}} \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$  eV.

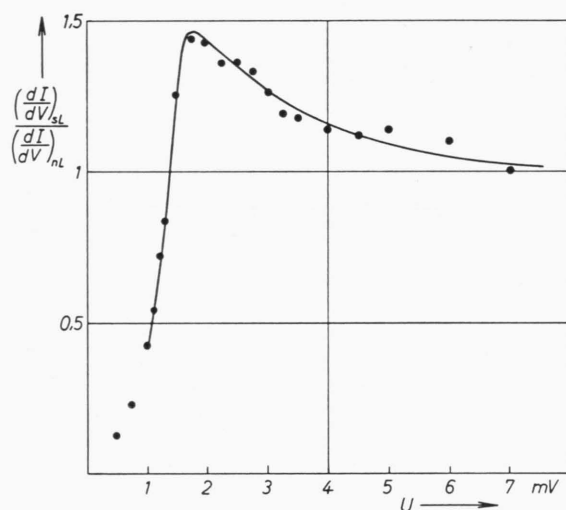


Abb. 2. Ungefäher Verlauf der Zustandsdichte in der Umgebung der verbotenen Zone des supraleitenden Bleis.

Herrn Prof. Dr. H. HAKEN danken wir für das Interesse an dieser Arbeit, der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Bereitstellung von Mitteln und Apparaten.

<sup>1</sup> I. GIAEVER, Phys. Rev. Lett. **5**, 147 [1960].

<sup>2</sup> J. NICOL, S. SHAPIRO u. P. H. SMITH, Phys. Rev. Lett. **5**, 461 [1960].

<sup>3</sup> I. GIAEVER, Phys. Rev. Lett. **5**, 464 [1960].

<sup>4</sup> I. GIAEVER u. K. MEGERLE, Phys. Rev. **122**, 1101 [1961].

<sup>5</sup> I. GIAEVER, R. HART JR. u. K. MEGERLE, Phys. Rev. **126**, 941 [1962].

<sup>6</sup> J. BARDEEN, L. N. COOPER u. J. R. SCHRIEFFER, Phys. Rev. **108**, 1175 [1957].

