

Prom. Nr. 3632 B.

Diss ETH

Die kritischen Felder von supraleitenden
Indium-Blei-Legierungen

Von der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der
Naturwissenschaften
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von

SUSO GYGAX

dipl. Phys. ETH
von Thunstetten (BE)

Referent: Herr Prof. Dr. J. L. Olsen

Korreferent: Herr Prof. Dr. G. Busch



Druck: Konrad Triltsch, Graphischer Großbetrieb, Würzburg

Aus dem Institut für kalorische Apparate und Kältetechnik
der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich

Die kritischen Felder von supraleitenden Indium-Blei-Legierungen

Von

SUSO GYGAX*

Mit 12 Figuren

(Eingegangen am 28. Juni 1965)

In der α -Phase des Indium-Blei Legierungssystem wurden zwischen 0 und 10 at % Pb eingehende Magnetisierungs- und Widerstandsmessungen im longitudinalen Magnetfeld durchgeführt. Die Resultate wurden im Rahmen der GLAG-Theorie analysiert und die κ -Werte der Legierungen bestimmt. Für Konzentrationen größer als 4,2 at % Pb sind die Legierungen Supraleiter 2. Art. Die Variation von κ mit der Temperatur ist von der freien Weglänge abhängig: sie ist für die größeren Konzentrationen etwas stärker als für die kleineren. Ein Vergleich mit den neuesten Theorien und anderen Experimenten zeigt, daß dieses Problem noch nicht gelöst ist. Das Phänomen der Oberflächen-Supraleitung und dem damit verbundenen kritischen Feld H_{c3} kann mit der von SAINT-JAMES und DE GENNES aufgestellten Theorie sehr gut beschrieben werden. Die Konstante $C_0 = H_{c3}/H_{c2}$ ist jedoch für alle Legierungen ungefähr 10% größer als der theoretische Wert 1,694. Durch Verkupfern der Oberfläche konnte nachgewiesen werden, daß dieses Phänomen nicht durch oberflächliche Inhomogenitäten verursacht wird. Kupfer reduziert H_{c3} , und man findet $C_{Cu} = 1,15$. Die Konzentrationsabhängigkeiten von T_c und γ zeigen bei 7 at % Pb Abweichungen vom monotonen Verlauf: die T_c -Kurve ändert ihre Steigung, während γ auf einen kleineren Wert fällt. Dieses Verhalten wird mit einem Berührungseffekt von Fermifläche und Brillouinzone erklärt.

On présente les résultats d'une étude de la résistance électrique et d'aimantation dans un champ longitudinal sur des alliages Indium-Plomb dans la phase α . Les résultats ont été analysés selon la théorie de Ginzburg-Landau-Abrikosov-Gorkov et on a déterminé le paramètre κ . Pour des concentrations au dessus de 4,2 at % Pb les alliages sont des supraconducteurs de la deuxième espèce. La variation de κ avec la température dépend du libre parcours moyen et est moins prononcée pour les alliages plus dilués. Ce n'est pas en accord avec les théories les plus récentes.

Le phénomène de la supraconductivité de la surface avec le champ critique H_{c3} est bien décrit par la théorie de SAINT-JAMES et DE GENNES. Mais pour tous les alliages étudiés la constante $C_0 = H_{c3}/H_{c2}$ est plus grande que la valeur théorique 1,694 par environ 10%. Par déposition électrolytique du Cu sur la surface des spécimens on réduit H_{c3} et obtient $C_{Cu} = 1,15$. Cela indique que ce phénomène n'est pas dû aux filaments à la surface.

Dans les variations de T_c et de γ avec la concentration on observe des irrégularités à 7 at % Pb. On peut les expliquer par un attouchement de la surface de Fermi avec la zone de Brillouin.

Resistance and magnetization measurements have been made on α -phase Indium Lead alloys in a longitudinal magnetic field. The results have been analyzed in terms of the Ginzburg-Landau-Abrikosov-Gorkov theory and the parameter κ of the alloys has been determined. Alloys with concentrations greater than 4.2 at % Pb are superconductors of the second kind. The temperature variation of κ depends on the mean free path and is somewhat less pronounced for the more dilute alloys. This behaviour is not adequately described by the recent theories.

* University of California San Diego, La Jolla, Calif. (USA)

The phenomena of surface superconductivity and its critical field H_{c3} are in good agreement with the theory of SAINT-JAMES and DE GENNES except for the constant $C_0 = H_{c3}/H_{c2}$ which for all the alloys studied is about 10% higher than the theoretical value 1.694. Electrolytic deposition of Cu on the surface reduces H_{c3} and gives $C_{cu} = 1.15$ and excludes the alternative explanation of surface filaments.

The concentration dependences of T_c and γ show irregularities at 7 at % Pb. They can be explained by the touching of the Fermi surface with the Brillouin zone boundary.

1. Einleitung

Die Theorie der Supraleitung arbeitet naturgemäß mit idealen Supraleitern. In der phänomenologischen London- und der mikroskopischen Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)-Theorie bedeutet ideal unter anderem, daß bis auf Eindringtiefeeffekte ein vollständiger und reversibler Meissnereffekt zu beobachten ist. Das bedeutet, daß die Magnetisierung für einen langen Zylinder im longitudinalen Magnetfeld beim kritischen Feld H_c diskontinuierlich auf Null fällt. Tatsächlich zeigen die meisten sehr reinen Supraleiter dieses „ideale“ Verhalten. Dünne Filme, gewisse Verbindungen und Legierungen sind jedoch in diesem Sinne nichtideal: ein zunehmendes Magnetfeld dringt nur allmählich ins Innere der Substanz ein, die Magnetisierungskurven werden stark irreversibel und beim Abschalten eines Magnetfeldes bleibt meist ein beträchtlicher Anteil eingefrorenen Flusses in solchen Proben zurück.

Die Elektrodynamik in der BCS-Theorie beruht auf einer Störungsrechnung, bei der das Magnetfeld als kleine Störung betrachtet wird. Es ist deshalb nicht weiter erstaunlich, daß gerade das magnetische Verhalten von vielen Supraleitern nicht unbedingt mit dieser Theorie übereinstimmt. Auch hat schon LONDON [1] gezeigt, daß zur Erklärung des Meissnereffektes eine (positive) Oberflächenenergie zwischen normalen und supraleitenden Regionen eingeführt werden muß, eine Größe, die auch in der BCS-Theorie fehlt. Eine Oberflächenenergie kommt nach PIPPARD [2] dadurch zustande, daß zwischen einer magnetischen Grenze (beschrieben durch die Eindringtiefe λ) und einer Konfigurationsgrenze (dargestellt durch die Kohärenzlänge ξ , über welche ein Ordnungsparameter variiert) unterschieden wird. Sie ist dann der auf die Grenzflächeneinheit bezogene Energieunterschied zwischen Kondensationsenergie ($H_c^2 \xi / 8\pi$) und Feldenergie ($H_c^2 \lambda / 8\pi$). Seitdem nun aber GORKOV [3] eine phänomenologische Theorie von GINZBURG und LANDAU [4] zur Behandlung des magnetischen Verhaltens von Supraleitern in der Nähe ihres Phasenüberganges mikroskopisch begründet hat, sind diese Fragen wenigstens in der Nähe der kritischen Temperatur auch theoretisch geklärt. Der Begriff des idealen Supraleiters kann nun weiter gefaßt werden.

Die Ginzburg-Landau-Gleichungen enthalten einen Materialparameter

$$\kappa = \frac{2\sqrt{2}e}{\hbar c} H_c \lambda_0^2, \quad (1)$$

worin H_c das thermodynamische kritische Feld und λ_0 die Eindringtiefe für verschwindend kleines Magnetfeld bedeuten. Dieser Parameter scheidet nun die Supraleiter in zwei Gruppen, je nachdem er kleiner oder größer als $1/\sqrt{2}$ ist.

Für $\sqrt{2}\kappa < 1$ ist die Oberflächenenergie positiv und der massive Supraleiter zeigt vollständigen Meissnereffekt. Diese Substanzen nennt man Supraleiter 1. Art.

Für $\sqrt{2}\kappa > 1$ hat ABRIKOSOV [5] die Ginzburg-Landau-Gleichungen für den unendlich ausgedehnten Supraleiter gelöst. Danach existiert für diese Supraleiter