Vers une nouvelle classe de matériaux supraconducteurs ?

A. Lasbley, R. Granger, S. Rolland

► To cite this version:

A. Lasbley, R. Granger, S. Rolland. Vers une nouvelle classe de matériaux supraconducteurs ?. Revue de Physique Appliquée, 1973, 8 (4), pp.399-401. 10.1051/rphysap:0197300804039900 . jpa-00243703

HAL Id: jpa-00243703

<https://hal.science/jpa-00243703>

Submitted on 1 Jan 1973

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

VERS UNE NOUVELLE CLASSE DE MATÉRIAUX SUPRACONDUCTEURS ?

A. LASBLEY, R. GRANGER et S. ROLLAND

INSA, Département de Physique, 35031 Rennes Cedex, France

Résumé. — Nous avons observé un comportement supraconducteur du tellure de plomb, attribuable au plomb précipité dans les sous-joints de grains, existant jusqu'à des températures de l'ordre de 20 K. Nous pensons qu'un tel comportement pourrait être attribué à un couplage électron-exciton.

Abstract. — We have observed the superconducting behaviour of lead-telluride attributed to lead in crystal grain boundaries, up to temperature reaching 20 K. We feel that such a behaviour could be explained by an electron-exciton coupling.

Depuis 1965, dans le but d'obtenir des matériaux supraconducteurs à haute température critique T_c , plusieurs auteurs [1], [2], [3] ont proposé un mécanisme de supraconductivité où le couplage attractif entre électrons de conduction d'un métal est dû aux ondes de polarisation à l'interface métal-diélectrique ou métal semi-conducteur (couplage excitonique, par exemple). Alors que Mac Millan [4] a montré que dans le cas de l'interaction classique électron-phonon, la température critique que l'on peut espérer atteindre par modification de ce couplage ne dépasserait pas 30 K dans le meilleur des cas ($T_{\text{cmax}} = 9,2$ K pour le plomb), en revanche le mécanisme de couplage excitonique permet d'envisager des températures critiques allant peut-être jusqu'à 100 K. Jusqu'ici, il n'y a pas eu de mise en évidence expérimentale convaincante de ce type de couplage, ceci est probablement dû au fait qu'il est extrêmement difficile de réaliser une interface sans états de surface, condition essentielle pour que les électrons de conduction du métal pénètrent suffisamment dans le semi-conducteur ou le diélectrique où a lieu le couplage excitonique.

Les caractéristiques tunnel de jonctions In-PbTe ont mis en évidence la présence d'un supraconducteur à des températures bien supérieures à la T_c de l'indium [5]. L'intensité du courant tunnel observé et la largeur de l'anomalie à tension nulle ont amené les auteurs à penser que ce supraconducteur pouvait être du plomb précipité dans les sous-joints de grains de PbTe débouchant à l'interface In-PbTe.

Pour mieux caractériser le supraconducteur et confirmer l'hypothèse émise, on a étudié les variations de susceptibilité magnétique de monocristaux de PbTe. Cette méthode évite la réalisation de contacts électriques très délicate aux températures concernées.

Les lingots de PbTe sont préparés par synthèse à

partir d'une quantité égale de plomb et de tellure, de pureté 5 N, fusion de zone horizontale (20 passes environ) et croissance par la méthode de Bridgmann. Le bain fondu s'enrichit en plomb au fur et à mesure de la croissance et la fin du lingot contient un fort excès de plomb. Les monocristaux de PbTe sont constitués de cristallites de même orientation cristallographique [6] séparées par des sous-joints de grains.

Les cristallites sont révélées par attaque chimique sélective ; leur taille varie de 0,3 à plusieurs millimètres. Un disque taillé en fin du lingot révèle des cristallites de PbTe noyées dans une gangue de plomb (échantillons type γ_1). A l'heure actuelle, nous n'avons pas pu évaluer l'épaisseur de sous-joints de grains, ni analyser leur composition mais nous savons d'après Scanlon [7] que lors de la croissance du cristal, du plomb précipite à l'état neutre dans les dislocations dont la plus grande partie se trouve dans les sous-joints de grains.

Les variations de susceptibilité magnétique des échantillons sont déduites des variations de période d'un oscillateur LC à courant constant dont la bobine contient l'échantillon. Les mesures sont faites sur des disques de 10 mm de diamètre et 1,5 mm d'épaisseur, dans la gamme 2 K-30 K avec une précision de 10^{-2} K, en présence d'un champ magnétique statique variant de 0 à 30 K œersteds.

L'ensemble expérimental permet d'apprécier des variations de susceptibilité magnétique $\Delta\chi$ de l'ordre de quelque 10^{-5} MKSA. Les variations de χ à champ nul pour quelques échantillons sont représentées sur la figure 1.

Les échantillons α_2 , I_5 , I_4 , I_6 présentent une taille croissante de cristallites avec leur ordre de citation et une variation de $\Delta\chi$ décroissante. Ceci s'explique si on admet que la quantité de plomb, à l'état précipité dans les sous-joints, devient de plus en plus faible.

Nous avons étudié les variations du champ critique $H_c(T)$ détruisant l'effet supraconducteur détecta-

bien la loi :

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \frac{T^2}{T_{cM}^2} \right]$$

où T_{cM} est la température pour laquelle l'effet supraconducteur détectable à travers les variations de susceptibilité magnétique disparaît. A partir des valeurs de $H_c(0)$ trouvées, on peut tenter une évaluation grossière de la taille des précipités de plomb ; dans la limite de London, et en utilisant les paramètres du plomb massif, celle-ci varie de 300 Å pour γ_1 à 40 Å pour I_6 .

Nous pensons qu'il n'est pas raisonnable d'expliquer par des fluctuations du paramètre d'ordre le comportement supraconducteur décrit car les variations de susceptibilité ont des valeurs appréciables ($> 10^{-5}$ uem) bien au-delà de la température critique du plomb massif.

Le comportement supraconducteur des précipités de plomb ne peut pas davantage s'expliquer à partir des seules modifications du couplage électron-phonon. En effet, le plomb massif a déjà une valeur de « force de couplage » λ élevée et Mac Millan [4] a montré qu'une augmentation de celle-ci ne permet pas d'espérer une T_c supérieure à 9,2 K.

On pourrait penser que le supraconducteur observé est constitué d'une couche de PbTe fortement peuplée en électrons au voisinage de l'interface Pb-PbTe en admettant que les niveaux d'énergie de la bande de conduction de PbTe plongent profondément en dessous du niveau de Fermi du plomb créant ainsi une couche d'inversion de forte concentration électronique. Cependant, dans cette couche de très faible épaisseur la concentration en électrons ne peut dépasser $1,4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ ce qui limiterait la T_c à 3 K d'après les variations de T_c en fonction de la concentration électronique observées sur GeTe et SnTe, semi-conducteurs très voisins de PbTe du point de vue couplage électron-phonon [8].

En revanche, le couplage électron-exciton permettrait d'expliquer le comportement supraconducteur à haute température du système Pb-PbTe ; il reste cependant à confirmer cette hypothèse. Il est à remarquer que la théorie de Bardeen *et al.* [3] appliquée au système Pb-PbTe avec $\lambda_{ex} = 0,5$ permet de prévoir une $T_c \simeq 20$ K.

Ce premier résultat permet d'envisager la possibilité de réaliser des supraconducteurs à haute température critique en faisant « microprécipiter » le composant métallique dans un composé semiconducteur de constante diélectrique ϵ_∞ élevée, ou en faisant précipiter un autre métal dans le semiconducteur [9]. Il est important de rappeler que l'interface métal-semiconducteur doit comporter le minimum de charges d'espace. Cette remarque conduit à penser qu'il sera probablement plus facile de réaliser des matériaux supraconducteurs de ce type par le processus de précipitation que par le procédé d'évaporation de couches métalliques sur un semiconducteur.

FIG. 1. — Variations de la susceptibilité magnétique à champ nul en fonction de la température, pour divers échantillons.

ble dans la limite de résolution de l'appareillage expérimental. Ces variations sont représentées sur la figure 2.

FIG. 2. — Variation du champ critique perpendiculaire, avec la température, pour divers échantillons.

L'augmentation du champ critique peut s'expliquer par la division du plomb dans les sous-joints de grains, cette division augmentant lorsque la taille des précipités diminue. Les variations de $H_c(T)$ suivent assez

Bibliographie

- [1] GINZBURG, V. L., *Sov. Phys. JETP* **20** (1965) 1549.
 - [2] HURAULT, J. P., *J. Phys. Chem. Sol.* **29** (1968) 1765.
 - [3] ALLENDER, D., BRAY, J. et BARDEEN, J., *Phys. Rev.* **7B** (1973) 1020.
 - [4] MC MILLAN, W. L., *Phys. Rev.* **167** (1968) 331.
 - [5] KIEU, V. C., GRANGER, R., FINCK, C., *Phys. Stat. Sol.* **15b** (1973) n° 2.
 - [6] LASBLEY, A., Thèse Université de Rennes (1973).
 - [7] SCANLON, W. W., *Phys. Rev.* **126** (1962) 509.
 - [8] COHEN, M. L., *Superconductivity* (R. D. Parks éd., New York) 1969 617.
 - [9] KLEIN, J., 3^e Colloque National sur les Matériaux Supraconducteurs, Aussois, 1973.
-