Elastorésistivité des paires de Frenkel dans le cuivre

B. Beuneu

► To cite this version:

B. Beuneu. Elastorésistivité des paires de Frenkel dans le cuivre. Journal de Physique Lettres, 1979, 40 (20), pp.547-549. 10.1051/jphyslet:019790040020054700 . jpa-00231685

HAL Id: jpa-00231685

<https://hal.science/jpa-00231685>

Submitted on 1 Jan 1979

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.

Classification
 Physics Abstracts
 61.70 — 61.80

Elastorésistivité des paires de Frenkel dans le cuivre

B. Beuneu

Section d'Etude des Solides Irradiés,
 Centre d'études nucléaires de Fontenay-aux-Roses, 92260, France

(Reçu le 11 juillet 1979, accepté le 3 septembre 1979)

Résumé. — L'élastorésistivité des paires de Frenkel a été mesurée dans du cuivre irradié à 21 K par des électrons. Nos résultats suggèrent que les défauts migrant au stade I et au stade III ont des élastorésistivités respectivement positive et négative.

Abstract. — The elastoresistivity of Frenkel pairs has been measured in copper irradiated with electrons at 21 K. Our results suggest that the defects migrating in stage I and in stage III have, respectively, positive and negative elastoresistivities.

La résistivité ρ d'un conducteur soumis à une déformation élastique ε (par exemple uniaxiale) tend généralement à croître linéairement avec ε . La quantité $\chi = \delta\rho/\varepsilon$ est appelée élastorésistivité (E.R.).

Von Stebut [1] puis Delsarte [2] ont montré que l'on observe également une loi linéaire $\delta\rho_D = \chi_D \varepsilon$ si l'on s'intéresse à la résistivité spécifique de défauts cristallins (défauts d'irradiation pour le premier, atomes étrangers et dislocations pour le second). Ils ont surtout montré que l'élastorésistivité spécifique (E.R.S.) du défaut χ_D est très sensible à la nature de ce défaut. Notamment elle peut être positive ou négative suivant les cas. Cette observation fait de l'élastorésistivité une technique intéressante nouvelle pour étudier les défauts.

Dans le cas des défauts d'irradiation, Von Stebut qui avait étudié du cuivre irradié par des neutrons était arrivé à la conclusion que l'auto-interstitiel avait une E.R.S. positive et forte tandis que la lacune avait une E.R.S. pratiquement nulle. A vrai dire l'irradiation par neutrons créant des cascades, donc tout un spectre complexe de défauts ponctuels (amas, bi-, tri-, ..., interstitiels et lacunes), cette dernière conclusion était discutable et incitait fortement à refaire une expérience d'E.R.S. sur des défauts ponctuels mieux définis, créés par irradiation aux électrons. C'est une telle expérience que nous décrivons ci-dessous.

Technique expérimentale. — Le dispositif expérimental (machine de traction) est décrit ailleurs [3].

Nous tirons sur un fil de cuivre, de diamètre 137 μm , de longueur 60 mm environ, brut de tréfilage et de résistivité résiduelle 4,5 $\text{n}\Omega\cdot\text{cm}$ (après recuit, cette résistivité tombe à 1,9 $\text{n}\Omega\cdot\text{cm}$, ce qui correspond d'après Rider et Foxon [4] à environ 10^{10} cm^{-2} dislocations dans le fil brut utilisé ici).

Sa résistance $R = \rho \frac{l}{s}$ varie alors linéairement avec la déformation $\varepsilon = \delta l/l$:

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta\rho}{\rho} + \frac{\delta l}{l} - \frac{\delta s}{s} = \frac{\delta\rho}{\rho} + (1 + 2\nu)\varepsilon$$

ρ : résistivité,

l : longueur,

s : section,

ν : coefficient de Poisson.

Nous mesurons $\delta R/R$ (par un pont de Kelvin et des amplificateurs galvanométriques) en fonction de ε et nous en déduisons $\chi = \delta\rho/\varepsilon$.

Chaque point de mesure résulte d'une dizaine de cycles de traction de 0 à 5×10^{-4} environ en déformation.

L'irradiation a eu lieu dans le dispositif d'irradiation Vinkac décrit par ailleurs [5] disposé sur l'accélérateur Van de Graaff de notre laboratoire qui fournit des électrons de 2,5 MeV. La température était de 21 K. Cette température se trouve, dans le cuivre, juste au-dessus du stade I_A c'est-à-dire qu'elle permet de conserver des paires de Frenkel bien séparées (les

paires très proches ne sont pas stables à cette température). La résistivité finale des paires créées était :

$\delta\rho_f = 25 \text{ n}\Omega\cdot\text{cm}$ pour un premier échantillon (Cu 1),

$\delta\rho_f = 50 \text{ n}\Omega\cdot\text{cm}$ pour un second (Cu 2),
soit donc des concentrations de paires d'environ 10^{-4} (Cu 1) et 2×10^{-4} (Cu 2) (résistivité d'une paire : $2,5 \mu\Omega\cdot\text{cm}/\%$ [6]).

Les mesures d'élastorésistivité et de résistivité, au cours de l'irradiation, puis des recuits, ont lieu à 20 K.

Les recuits isochrones de guérison sont faits dans un four plongeant dans l'hydrogène liquide pour les plus basses températures. Chacun dure 10 min.

Résultats. — La figure 1 montre l'augmentation de l'E.R. χ en fonction de la concentration en défauts créée, elle-même repérée par l'augmentation $\delta\rho$ de résistivité. On trouvera sur la même figure les résultats obtenus par Von Stebut après irradiation aux neutrons. Comme pour les neutrons, l'E.R. croît linéairement avec $\delta\rho$, ce qui dérive de la loi de Matthiessen :

$$\rho = \rho_0 + c_{\text{PF}} \rho_{\text{PF}}$$

où

ρ_0 est la résistivité avant irradiation,
 c_{PF} la concentration en paires de Frenkel,
 ρ_{PF} la résistivité d'une paire.

Fig. 1. — Elastorésistivité en fonction de la résistivité induite par irradiation $\Delta\rho(\Phi)$ à 21 K : ● échantillon Cu 1, ★ échantillon Cu 2. En tirets : résultat obtenu au cours des irradiations aux neutrons rapides [1].

[Elastoresistivity vs. radiation induced bulk resistivity $\Delta\rho(\Phi)$ at 21 K : ● sample Cu 1, ★ sample Cu 2. The result obtained for irradiation by fast neutrons is indicated by the dashed line [1].]

D'où l'effet de la traction :

$$\frac{\delta\rho}{\varepsilon} = \frac{\delta\rho_0}{\varepsilon} + c_{\text{PF}} \frac{\delta\rho_{\text{PF}}}{\varepsilon}$$

soit

$$\chi = \chi_0 + c_{\text{PF}} \chi_{\text{PF}}.$$

La pente de la courbe 1 est donc

$$\frac{\Delta\chi}{\Delta\rho} = \frac{\chi_{\text{PF}}}{\rho_{\text{PF}}} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\delta\rho_{\text{PF}}}{\rho_{\text{PF}}}$$

et nous donne l'élastorésistivité spécifique de la paire de Frenkel

$$\chi_{\text{PF}} = \frac{\delta\rho_{\text{PF}}}{\varepsilon} \simeq 0,5 \rho_{\text{PF}}.$$

La première partie de la courbe, non linéaire, est attribuée à l'épingle des dislocations comme dans le cas des neutrons. En effet Von Stebut [1] a constaté que cet effet va de paire avec la saturation du module d'Young et n'existe pas dans les échantillons où les dislocations sont déjà épinglées. Après ce petit domaine en début d'irradiation, et jusqu'à la fin de nos essais, les dislocations sont épinglées et nous négligerons donc cet effet d'élastorésistivité négative des dislocations mobiles.

La figure 2 présente les guérisons isochrones de l'E.R. et de la résistivité $\delta\rho$ normalisées l'une et l'autre à l'unité.

La courbe de guérison de la résistivité montre que

Fig. 2. — Guérison de l'élastorésistivité après irradiation aux électrons à 21 K : ○ échantillon Cu 1, ★ échantillon Cu 2. La guérison de résistivité est reportée en trait continu pour Cu 2, en pointillé pour Cu 1.

[Thermal recovery of the elastoresistivity after 21 K electron irradiation : ○ sample Cu 1, ★ sample Cu 2. The resistivity recovery is indicated by a solid line for Cu 2, by a dotted line for Cu 1.]

l'on est dans un cas simple où l'on élimine des paires de Frenkel au stade I (81 % de la résistivité induite par irradiation) et un deuxième type de défauts au stade III (15 %) avec un stade II presque inexistant (4 %).

La courbe de guérison de l'élastorésistivité a aussi 2 stades nets, correspondant à ceux de la résistivité : χ chute brutalement au stade I en dessous même de sa valeur initiale et se restaure totalement en même temps que la résistivité au stade III.

Discussion. — La chute brutale d'E.R. entre 30 et 50 K confirme clairement que l'interstitiel a dans le cuivre une E.R.S. très forte et positive comme dans l'expérience de Von Stebut.

La valeur négative que conserve l'E.R. entre 50 et 240 K suggère que le deuxième type de défaut présent possède en revanche une E.R.S. négative (sa résistivité diminue lorsqu'il est soumis à une élongation dans le sens du courant). Ce défaut peut être soit

la lacune (modèle à un interstitiel) soit un second interstitiel (modèle à deux interstitiels).

La présente expérience ne permet pas de faire un choix entre ces deux possibilités. D'autre part le rôle des dislocations présentes dans l'échantillon reste à préciser. Cependant le changement de signe de l'E.R. au cours du recuit nous semble pouvoir jouer un rôle très utile dans l'interprétation des courbes de guérison des métaux irradiés. Aussi des mesures du même type sur des échantillons recuits, et des mesures d'E.R.S. sur des échantillons trempés (ne contenant que des lacunes) sont-elles actuellement projetées pour lever ces incertitudes.

Nous tenons à remercier J. Dural qui a plié avec une imagination et une patience sans limite le dispositif Vinkac aux exigences de l'expérience (stabilité en température notamment), et J. Von Stebut pour avoir suggéré cette expérience et pour d'intéressantes discussions.

Bibliographie

- [1] VON STEBUT, J., *Phys. Status Solidi* (a) **9K** (1972) 145.
 - [2] DELSARTE, G., *J. Physique* **36** (1975) 1261.
 - [3] CONTE, R. R., VON STEBUT, J., *Revue Phys. Appl.* **4** (1969) 770.
 - [4] RIDER, J. G., FOXON, C. T. B., *Phil. Mag.* **16** (1967) 1133.
 - [5] DURAL, J., ARDONCEAU, J., JOUSSET, J. C., Centre d'Etudes Nucléaires, B.P. 6, 92260 Fontenay-aux-Roses, France (à paraître).
 - [6] WENZL, H., *Vacancies and interstitials in Metals* (North Holland, Amsterdam) 1969, p. 739.
-