

PHYSIQUE DES SOLIDES. — *Formation à basse température de défauts dans le silicium N bombardé par des rayons γ* . Note (*) de MM. **JEAN MESSIER** et **JORGE MERLO FLORÈS**, présentée par M. Francis Perrin.

On a étudié par mesure d'effet Hall et de résistivité dans du silicium N de haute résistivité, les conditions de formation à basse température d'un niveau situé à 160 meV de la bande de conduction. Le taux d'introduction de ce niveau en fonction de la température de bombardement ainsi que sa vitesse de formation à basse température, le différencie nettement des associations lacune-oxygène observées par résonance nucléaire.

Nous avons étudié dans du silicium N les conditions de formation à basse température d'un niveau d'énergie situé dans la bande interdite du silicium à 160 meV de la bande de conduction, et lié à la présence des défauts introduits par irradiation de rayons γ du ^{60}Co .

De nombreux travaux ont été effectués mettant en évidence l'existence de ce niveau ⁽¹⁾. Après les travaux de Watkins et Corbett ⁽²⁾, Bemski ⁽³⁾, par résonance électronique, ce niveau a été attribué à une association lacune-oxygène. Ces auteurs avaient observé en particulier que le taux d'introduction de ce défaut diminuait fortement avec la température de bombardement ce qui était en accord avec les résultats obtenus par Wertheim ⁽⁴⁾, par mesure d'effet Hall et de résistivité.

Wertheim avait suggéré que cela était dû à une recombinaison des paires lacune-interstice primaires plus importante à basse température qu'à la température ordinaire.

Nos expériences ont été réalisées avec du silicium N de haute résistivité (300 à 1500 Ω .cm) purifié par le procédé de la « zone flottante », ayant une concentration en oxygène inférieure à 10^{16} atomes/cm³. Les irradiations ont été effectuées avec une source de 10 000 Cu de ^{60}Co . Nous avons mesuré par effet Hall la variation du nombre de porteurs en fonction de la température entre 300 et 77°K, avant et après irradiation.

Nous avons irradié à la température ordinaire deux groupes d'échantillons de résistivité différente. Dans le premier groupe, de résistivité 1000 à 1500 Ω .cm, on observe essentiellement la formation du niveau d'énergie situé à 160 meV de la bande de conduction, dans le second groupe, de résistivité 300 à 600 Ω .cm, on observe en plus la formation d'autres niveaux d'énergie situés à plus de 400 meV de la bande de conduction. Les défauts, responsables de ces niveaux, sont stables pour des températures comprises entre 77 et 300°K.

Quand on irradie les mêmes types d'échantillons à 77°K et qu'on les recuit ensuite à la température ordinaire, on obtient les mêmes résultats. En particulier, le taux d'introduction du niveau situé à 160 meV ne dépend pas, dans les limites de précision des mesures expérimentales (3 %), de la température de bombardement. Ce taux d'introduction était de $9,4 \cdot 10^{-4}$

défaut-cm⁻¹-photon⁻¹ ($\sigma = 1,9 \cdot 10^{-26}$ cm²) dans le premier groupe et de $7,5 \cdot 10^{-4}$ défaut-cm⁻¹-photon⁻¹ ($\sigma = 1,5 \cdot 10^{-26}$ cm²) dans le deuxième groupe. Ces valeurs sont comparables à celles publiées par les différents auteurs ayant utilisé, comme source de rayonnement, du ⁶⁰Co, pour des bombardements effectués à la température ordinaire.

Remarquons que la constance du taux d'introduction en fonction de la température de bombardement est à rapprocher des résultats obtenus par Fan et Ramdas, par absorption infrarouge (5). L'intensité de la raie d'absorption à 11,98 μ ne dépend pas non plus de la température d'irradiation.

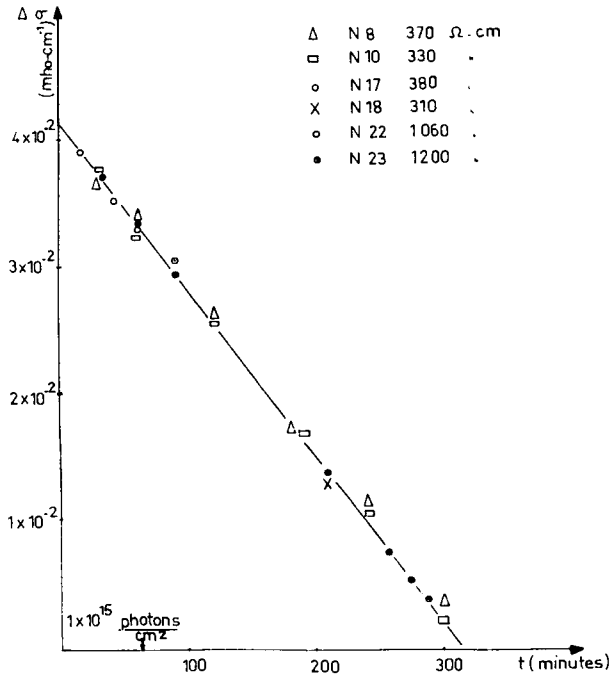


Fig. 1.

Étude des conditions de formation à basse température du niveau situé à 160 meV de la bande de conduction. — En bombardant à 77°K, on constate une diminution de conductivité identique pour tous les échantillons et proportionnelle au flux reçu (fig. 1). Le niveau de Fermi est alors situé entre 77 et 100 meV de la bande de conduction.

La diminution de conductivité cesse avec l'irradiation, et le nombre total de centres négatifs introduits ne varie pas de plus de 0,5 % en 5 jours, si l'on garde l'échantillon à cette température. Cela suggère que les niveaux formés, responsables de cette diminution de conductivité ne sont pas dus à des associations entre une lacune ou un interstitiel et une impureté chimique du réseau à moins que cette association ne se soit produite très rapidement. Nos expériences montrent que ce temps devrait être inférieur à 20 s.

Après irradiation à 77°K , on a fait subir à nos échantillons des recuits isochrones à des températures croissantes de 77 à 300°K , puis décroissantes de 300 à 77°K . La figure 2 montre, pour un échantillon de $310 \Omega\text{.cm}$,

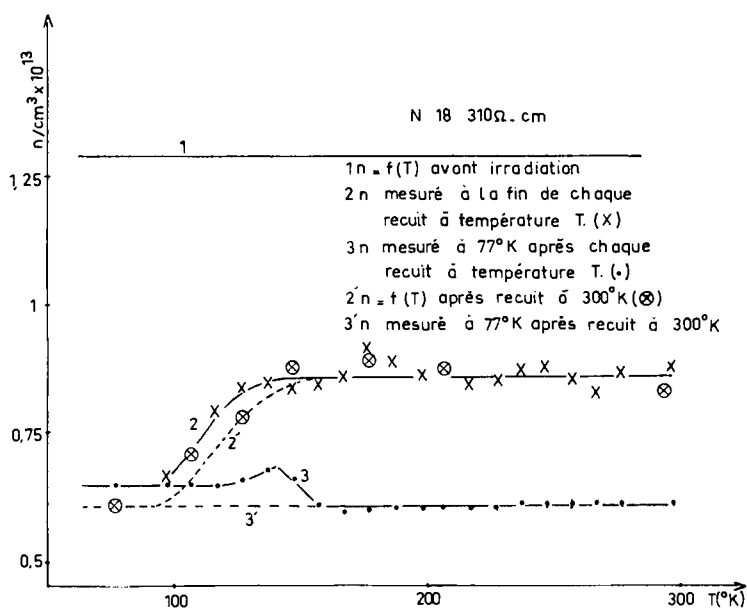


Fig. 2.

la variation du nombre de porteurs mesurée à la fin de chaque période de recuit de 10 mn à température T (courbe 2) et la variation du nombre de porteurs mesurée à 77°K après chaque recuit à température T (courbe 3), pour des températures croissantes. Les courbes 2' et 3' sont relatives

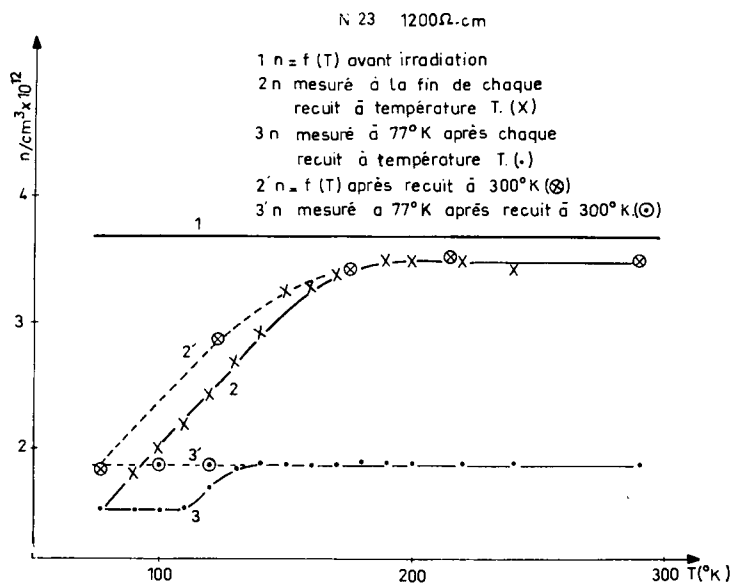


Fig. 3.

aux recuits effectués ensuite avec des températures décroissantes. A partir du moment où la température a atteint 200°K , on n'observe plus d'évolution des défauts dans cette gamme de température. La figure 3 montre les résultats obtenus avec un échantillon de $1200 \Omega.\text{cm}$. Sur la figure 2 on constate que le niveau à 160 meV est déjà entièrement formé à des températures inférieures à 120°K et comme il ne semble pas s'être formé pendant le cycle de recuit, il est probable qu'il s'est entièrement formé à 77°K pendant le bombardement.

En conclusion, nous dirons que par irradiation à la température de 77°K , on observe la formation d'un certain nombre de défauts primaires, immédiatement au moment de l'irradiation et proportionnellement au flux γ . Dans nos échantillons où le niveau de Fermi est situé au début de l'irradiation entre 77 et 87 meV de la bande de conduction, l'état de charge global de ces défauts est négatif. Aucun niveau d'énergie n'apparaît entre 50 et 100 meV de la bande de conduction, par contre 25% de ces niveaux primaires sont situés entre 100 et 150 meV de la bande de conduction. Au cours de traitements de recuit, pour une position donnée du niveau de Fermi ($E_c - E_F = 80 \text{ meV}$), on n'observe qu'une petite variation du nombre total de ces centres négatifs introduits pour des températures comprises entre 120 et 150°K . Cette variation pourrait correspondre à un mouvement à longue distance des lacunes observé par Watkins (*) dans du silicium P à une température un peu supérieure.

Par ailleurs, il semble difficile d'identifier les niveaux introduits à 160 meV de la bande de conduction avec les associations lacune-oxygène observées par résonance électronique [centre A de (2)]. En effet, le taux d'introduction des niveaux à 160 meV ne varie pas comme celui des centres A avec la température et, d'autre part, les niveaux situés à 160 meV semblent déjà formés à 77°K . Pour que l'association lacune-oxygène ait pu se former à cette température, il faudrait que l'énergie d'activation du processus de déplacement des lacunes soit de l'ordre de 170 meV , valeur extrêmement faible.

(*) Séance du 27 juillet 1964.

(1) G. K. WERTHEIM, *Phys. Rev.*, 1957, p. 1730; G. RUPPRECHT et C. A. KLEIN, *Ibid.*, 1959, p. 342; E. SONDER et L. C. TEMPLETON, *J. Appl. Phys.*, 1960, p. 1279; N. A. VITOVKII, T. V. MASHOVETS et S. M. RYVKIN, *Fiz Tver Tela*, 4, 1962, p. 2845 et *Sov. Phys. Solid State*, 5, 1963, p. 2085; V. S. VAVILOV, G. N. GALKIN, V. M. MALOVETSKAYA et A. F. PLOTNIKOV, *Fiz Tver Tela*, 4, 1962, p. 1969 et *Sov. Phys. Solid State*, 4, 1962, p. 1442.

(2) G. D. WATKINS, J. W. CORBETT et R. M. WALKER, *J. Appl. Phys.*, 30, 1959, p. 1198; G. D. WATKINS et J. W. CORBETT, *Phys. Rev.*, 121, 1961, p. 1001.

(3) G. BEMSKI, *J. Appl. Phys.*, 30, 1959, p. 1195.

(4) G. K. WERTHEIM, *Phys. Rev.*, 110, 1958, p. 1272; 113, 1959, p. 568.

(5) A. K. RAMDAS et H. Y. FAN, *Conférence de Kyoto (J. Phys. Soc. Japan, 18, Sup. II, 1963, p. 33)*.

(6) G. D. WATKINS, *Conférence de Kyoto (J. Phys. Soc. Japan, 18, Sup. II, 1963, p. 22)*.

*Service d'Électronique Physique,
Centre d'Études nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette
et Comision Nacional de Energia Atomica, Argentina.)*