

Mesures de photo-courant pour la caractérisation de défauts dans les cristaux

Laboratoire de Génie Electrique de Paris (LGEP)
Equipe « Semi-conducteurs en Couches Minces »

UMR 8507 CNRS, Ecole Supérieure d'Electricité, Université Paris VI et XI

Correspondants : C. Longeaud

Tél. 01 69 85 16 45 Fax 01 69 41 83 18 E-mail : longeaud@lgep.supelec.fr

Deux techniques sont disponibles au LGEP. La technique du photocourant modulé et la méthode du photocourant constant. Ces deux techniques apportent des renseignements sur les défauts électriquement actifs présents dans la bande interdite des cristaux semi-conducteurs.

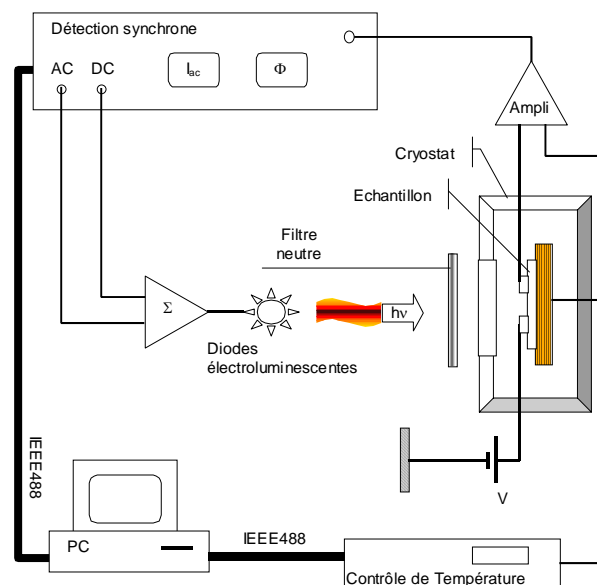
Ces deux techniques peuvent s'appliquer sur des échantillons de $1 \times 1 \text{ cm}^2$ et d'environ 1 mm d'épaisseur ou moins sur lesquels nous déposons deux électrodes ohmiques parallèles séparées d'environ 1 mm (laque d'argent). Il nous est possible de déposer des électrodes d'aluminium, de platine et d'or par évaporation mais l'expérience montre que ces électrodes ne donnent pas systématiquement de meilleurs résultats.

La technique du photocourant modulé est basée sur le principe suivant.

L'échantillon, polarisé par une tension continue, reçoit un éclairage monochromatique continu modulé. La longueur d'onde est choisie de telle sorte que la génération de porteurs se fait bande à bande. La partie alternative du courant est mesurée, après amplification, grâce à une détection synchrone qui enregistre le module du photo-courant et son déphasage avec l'excitation. En faisant varier la fréquence d'excitation et la température de l'échantillon il est possible d'obtenir un spectre des états présents dans la bande interdite du semi-conducteur. On peut en déduire la position énergétique des états, leur section efficace de capture et, dans certains cas leur densité [1], [2].

Nous disposons de plusieurs bancs de mesure au LGEP. Il est possible d'explorer des températures allant de 40 K à 460 K. Les longueurs d'ondes disponibles sont 850, 650 et 450 nm. On peut donc adapter l'éclairage à la bande interdite du semi-conducteur étudié. Les flux continus utilisés sont au maximum égaux à 10^{+15} photons/cm²/s et sont réglables grâce à des filtres neutres

La mise en place d'un échantillon et le démarrage d'une expérience sont assez faciles. Les mesures sont contrôlées par ordinateur et sont donc entièrement automatiques. Elles sont

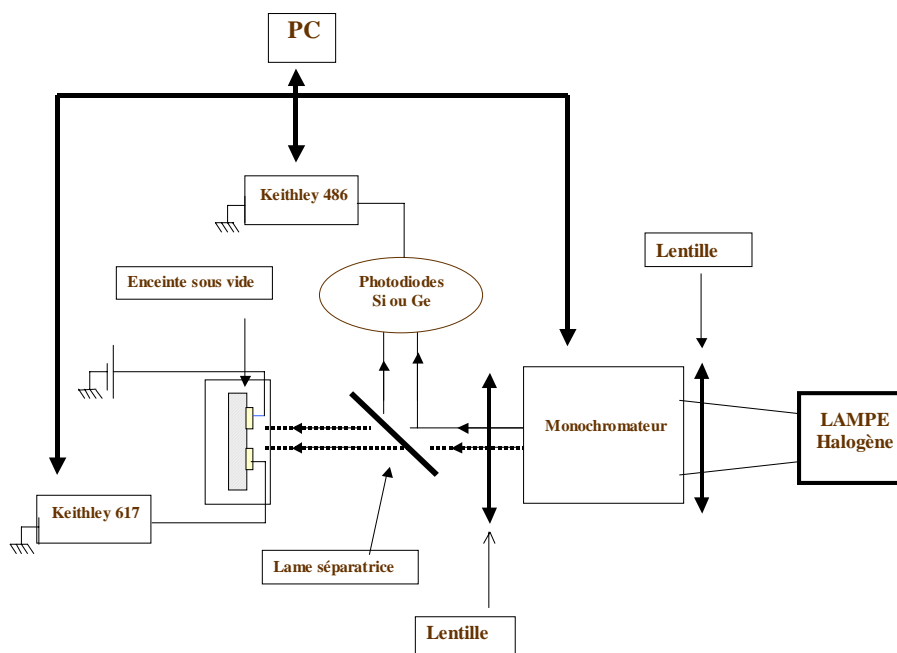


relativement longues : une acquisition complète demande environ 24 heures. Un des avantages de la technique est que moins il y a d'états dans la bande interdite plus grand est le signal de réponse.

La méthode du photocourant constant est basée sur une publication de H. G. Grimmeiss et L-A. Ledebro [3] et a été développée avec succès pour les couches minces semi-conductrices [4]. Les résultats obtenus sur des cristaux massifs seront plus qualitatifs que quantitatifs mais certainement instructifs.

Le principe est le suivant:

Le même type d'échantillon que ceux utilisés pour la technique de photocourant modulé est éclairé par une lumière monochromatique d'énergie de photon variable. L'échantillon étant polarisé par une tension continue on mesure le photocourant résultant. A chaque longueur d'onde le flux de photons F est mesuré et ajusté afin de maintenir le photocourant constant.



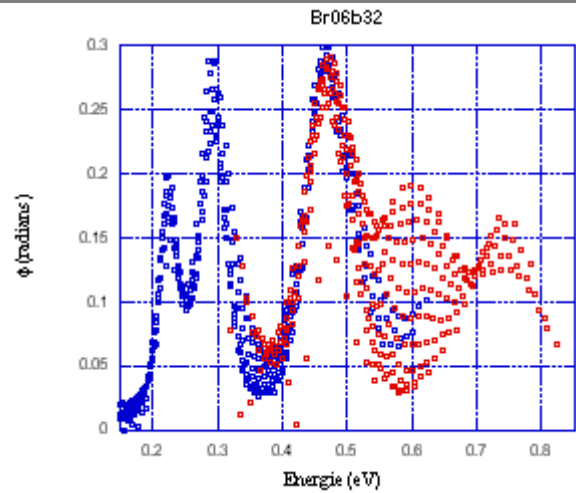
Par la suite on trace les variations de $1/F$ en fonction de l'énergie des photons. Cette technique permet d'obtenir des renseignements qualitatifs sur les états de la bande interdite pour lesquels l'absorption d'un photon crée des porteurs dans les états étendus. La comparaison de ces spectres avec les spectres d'absorption classiques doit mettre en évidence les états donnant lieu à des transition intra bande interdite.

Les longueurs d'ondes utilisées vont de $1.8 \mu\text{m}$ à 400 nm . Cette bande peut être étendue jusqu'à 190 nm par remplacement de la lampe halogène par une lampe deutérium. L'échantillon étant sous vide et dans un cryostat, il est possible de réaliser des études en température de 80 K à 460 K .

L'expérience est entièrement contrôlée par ordinateur et une acquisition complète pour une température nécessite environ une demi journée. Il nous est possible de mesurer des courants de l'ordre du pico ampère voire un peu plus faibles. Les flux utilisés vont de $10^{11} \text{ photons/cm}^2/\text{s}$ à $10^{14} \text{ photons/cm}^2/\text{s}$

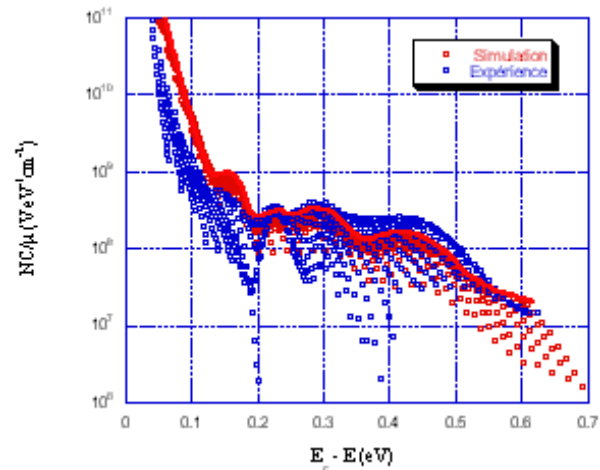
Grâce à des collaborations antérieures nous avons pu valider l'application de la technique de photo-courant modulé aux matériaux cristallins semi-isolants et définir une méthode fiable de détermination de la position énergétique des défauts, de leur section efficace et, dans certains cas, de leur densité.

Une étude de la densité d'états par la technique de photocourant modulé réalisée sur plusieurs échantillons a mis en évidence l'existence de pics à des énergies bien déterminées. Quelque soit l'échantillon considéré ces pics se retrouvent systématiquement et constituent donc une signature de la densité d'états de ce matériau. Ces pics sont extrêmement nets si on trace la variation de la phase du photo-courant avec l'énergie des états sondés comme on peut le constater sur la figure ci contre. Bien évidemment, d'un échantillon à l'autre ils sont plus ou moins marqués, la densité d'états n'étant pas rigoureusement la même.



Evolution de la phase du photocourant modulé avec l'énergie des états sondés

J'ai développé une simulation informatique (DeOSt) qui permet à l'utilisateur de définir une densité d'états et de calculer qu'elle serait la réponse d'un tel "échantillon" à la technique de photo-courant modulé. Les paramètres de densité d'états introduits dans cette simulation proviennent pour l'essentiel des résultats expérimentaux ce qui limite le nombre de paramètres ajustables. La figure ci-contre montre la bonne corrélation obtenue entre le spectre expérimental et le spectre calculé.



Comparaison entre spectres de densité d'états calculé et expérimental.

Le but de cette simulation n'est pas seulement de reproduire les résultats d'une expérience, ce qui serait très limité, mais aussi de tester différents modèles de densité d'états en prenant en compte les résultats d'autres expérimentations afin d'obtenir une vision globale cohérente. A terme, nous espérons ainsi déterminer l'origine structurale des défauts de la bande interdite (lacune de tellure, défauts liés au vanadium, ...).

Références

- [1] C. Longeaud, J.P. Kleider, Phys. Rev. B **45**, 11672 (1992)
- [2] C. Longeaud, J. P. Kleider, P. Kaminski, R. Koslowski, M. Pawlowski, R. Cwirko, Semiconductor Science Technology **14**, 747 (1999).
- [3] H. G. Grimmeiss et L-A. Ledebor, J. Appl. Phys. **46**, 2155 (1975).
- [4] M. Vanecek, J. Kocka, J. Stuchlik, Z. Kozisek, O. Stika, A. Triska, Solar Energy materials **8**, p. 411 (1982).