

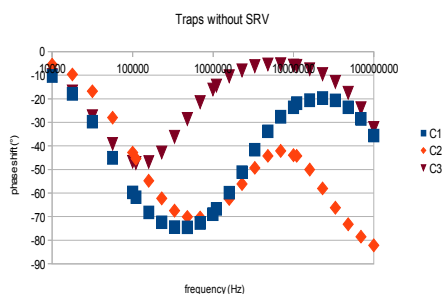
Modeling of the frequency dependence of modulated photoluminescence

Nicolas Moron^{1,2,3}, Baptiste Bérenguier^{3,4}, Wei Zhao³, José Alvarez^{1,2,3}, Jean-Paul Kleider^{1,2,3}

1. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 91192, Gif-sur-Yvette, France.
2. Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 75252, Paris, France
3. Institut Photovoltaïque d'Ile de France, 30 Route Départementale 128, 91120 Palaiseau, France
4. CNRS, UMR IPVF 9006, 30 Route Départementale 128, 91120 Palaiseau, France

La photoluminescence est une technique reconnue pour l'analyse des matériaux semi-conducteurs. Récemment, un dispositif expérimental a été développé [1] permettant de faire de la caractérisation par photoluminescence modulée à haute-fréquence (jusqu'à 100 MHz aujourd'hui), ce qui permet de caractériser des matériaux à courte durée de vie, comme le CIGS ou les semi-conducteurs III-V, alors que cette technique était jusqu'alors réservée au silicium avec une exploitation de la phase à plus basse fréquence (<100 kHz). Des premiers travaux de simulation [2] ont permis d'identifier des signatures particulières dans le déphasage entre le signal de luminescence et l'excitation, selon les défauts présents dans le matériau, et notamment les niveaux pièges superficiels (*shallow traps*) difficilement identifiables par TRPL (photoluminescence résolue en temps), montrant l'intérêt de cette nouvelle technique de caractérisation.

En partant des équations de continuité et de recombinaisons des semi-conducteurs, il a été possible de déduire des équations littérales pour interpréter les diagrammes de phase obtenus, notamment pour retrouver les paramètres d'un défaut (position énergétique, sections de capture, densité), mais avec des hypothèses fortes sur le matériau étudié (matériau homogène sans recombinaison surfacique). Ces expressions ont pu être vérifiées par simulation. Lorsqu'on prend en compte la dépendance spatiale de la photoluminescence (due aux phénomènes de recombinaison surfacique, diffusion), cela se complexifie, mais l'analyse de résultats de simulation, en parallèle d'une étude bibliographique, a permis d'obtenir des approximations numériques des résultats obtenus. Cela permet d'interpréter rapidement un diagramme expérimental, vérifié par simulation, moyennant des hypothèses encore assez contraignantes pour le moment.



La figure présente 3 diagrammes de phase obtenus par simulation pour 3 jeux de paramètres différents d'un défaut introduit dans le matériau semi-conducteur. On observe des variations non monotones, que l'on peut décrire par des fréquences caractéristiques (pôles du premier ordre en théorie des circuits linéaires). Ces fréquences sont physiquement liées aux fréquences de capture ou d'émission et il est ainsi possible de retrouver les paramètres du défaut introduit.

[1] B. Bérenguier *et al.*, *Thin Solid Films*, vol. 669, p. 520-524, doi: [10.1016/j.tsf.2018.11.030](https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.11.030).

[2] B. Bérenguier, *et al.*, in *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Chicago, IL, USA, juin 2019, p. 0352-0358, doi: [10.1109/PVSC40753.2019.8980539](https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8980539).