Détermination de la réponse spectrale réelle d'un QWIP

Rémy Braive et William Guyard
DEA Champs, Particules et Matière, Orsay

Travail réalisé sous la direction de Alexandru Nedelcu
Thales Research & Technology, Corbeville

21 octobre 2004

Résumé

Nous avons étudié l'influence de deux paramètres sur la réponse spéctrale de détecteurs à infrarouges à grandes longueurs d'ondes de types 'QWIP'. ces paramètres étaient le substrat de GaAs propre à la technologie employée et le hublot de ZnSe d'un cryostat propre à la méthode expérimentale. Il est apparu d'une part que leurs transmissions influaient sur la réponse et d'autre part que leur présence interdirait des mesures sur des composants répondant à de plus grands longueurs d'ondes.

Depuis les années 90, un nouveau type de détecteurs à infrarouges à fait son apparition. Il s'agit des QWIP (Quantum-Well Infrared Photodetectors). Ceux que nous avons étudiés sont composés d'une alternance de couches AlGaAs (barriere) et GaAs dopé (puits). Le potentiel vu par un électron est donc une succession de puits quantiques. La profondeur de ces puits, qui dépend de leur largeur et du dopage du matériau, est déterminée de telle sorte qu'un photon appartenant au rayonnement infrarouge excitera suffisament un électron placé au fond du puit pour qu'il en sorte. Une tension appliquée aux bornes de la structure permet alors de recolter le courant ainsi généré.

Pour réaliser un capteur on crée une matrice de QWIPs. Ces pixels sont à la surface d'un substrat de GaAs. Sur l'autre face de la matrice sera fixé le circuit de lecture, opaque. Le substrat sera donc traversé par le rayonnement.

Une des mesures permettant de qualifier un composant est la réponse spectrale. Elle traduit la conversion du flux lumineux en courant en fonction de la longueur d'onde. Pour procéder, on place le composant dans un cryostat de manière à l'amener à sa temperature optimale de fonctionnement (45K). Le cryostat comprend un hublot qui permet d'éclairer le composant aux infrarouge. On fait varier la fréquence et on mesure la réponse électrique. La mesure est donc influencée par la transmission du hublot. De plus, comme on l'a vu plus haut, le faisceau traverse le substrat avant d'atteindre les puits ; il serait en particulier interssant de connaitre l'utilite d'un amincissement. On va donc devoir caracteriser la transmission du hublot à temperature ambiente et celle du substrat à la température du composant.

Nous avons commencé par étudier la transmission à 300K du hublot du cryostat servant aux mesures de réponse spectrale. Il est constitué de ZnSe. Le spectre est réalisé à l'aide d'un spectromètre à infrarouges dans lequel un corps noir fourni la source de lumière et un interféromètre de Michelson permet de sélectionner la longueur d'onde du faisceau traversant l'objet. Le hublot est démonté du cryostat et placé dans la chambre de mesure du spectromètre qui est purgée à l'azote gazeux puisque l'eau et le dioxyde de carbone absorbent dans la bande spectrale étudiée (de 3 à 24 microns). La mesure est réalisée en deux parties : une acquisition du fond (spectre du corps noir) puis une acquisition du spectre de l'objet. On obtient la transmission du miroir en réalisant la division du second par le premier. Chaque acquisition se fait sur plus de cent balayages de la plage de mesure. Le spectre obtenu est reproduit sur la figure 1.

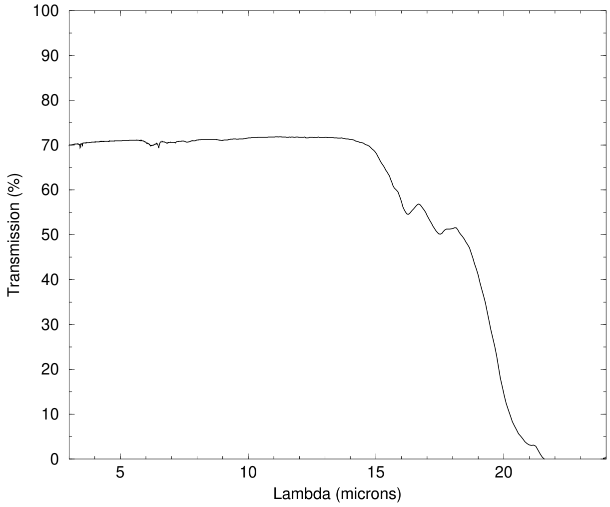

FIG. 1 – *Transmission du hublot de ZnSe à 300K.*

Cette courbe est proche de celles disponibles dans la littérature [2]. On voit que la transmission reste constante à environ 71,8% jusqu'à 14 microns. Dans cette zone le matériau n'absorbe pas et le spectre s'explique donc par les lois de l'optique (réflexions au surfaces de changement d'indice). A partir de 15 microns la transmission commence à nettement chuter. Le matériau absorbe dans les grandes longueurs d'onde. On peut d'hors et déjà affirmer que ce hublot ne permettra pas de mesures au-delà de 21 microns.

On s'interresse maintenant au substrat. Ce que l'on veut étudier est sa transmission à basse temperature. On va donc devoir le placer dans un cryostat. Le cryostat utilisé fonctionne à l'hélium. Il comporte quatre hublots du type de celui étudié precédemment. Le signal transmis est plus faible en raison du nombre de reflexions et donc on considère que les longeurs d'onde au dela de 20 microns sont inexploitables. Une première série de mesures consite à obtenir le spectre de transmission du cryostat vide à différentes températures. On procéde de même avec un échantillon de GaAs de 640 microns d'épaisseur. On réalise ensuite le rapport des spectres pour obtenir la transmission du GaAs à 45 et 300K. Ces spectres sont sur la figure 2.

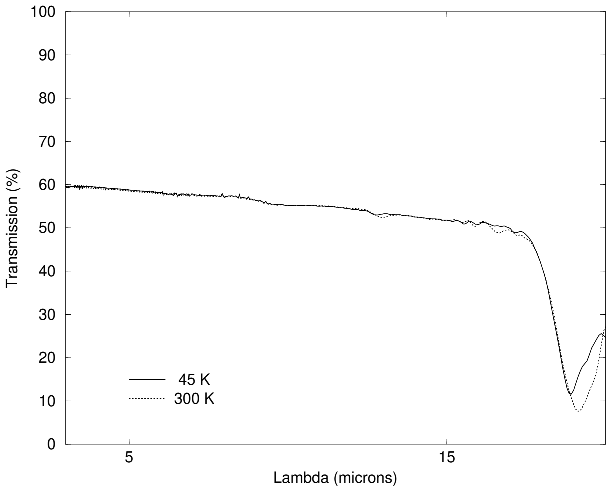

FIG. 2 – *Transmission d'un échantillon de GaAs de 640 microns à différentes temperatures.*

On remarque que les transmissions ne sont pas modifiées jusqu'à 18 microns. Ensuite, toutes les courbes ont le même premier pic ; il s'agit d'un pic d'absorption du à la présence de phonons optiques dans le matériau. Il y a cependant une différence notable : à basse temperature l'extrema du pic est à plus faible longueur d'onde (cela se compte en dixième de lambda). A 45K le pic est rogné du coté des grands lambdas par rapport à celui à 300K. Si on divise un spectre de transmission par la valeur du plateau (phenomène purement optique), les variations restantes correspondent à l'absorption du matériau. En en prenant le logarithme et en divisant par l'épaisseur de l'échantillon, on se ramène au coefficient d'absorption. Ce fut l'occasion de comparer nos résultats à des résultats de reference [3] : ils coïncident. On peut donc ensuite simuler la transmission d'un échantillon d'epaisseur quelconque. Sur la figure 3 on simule ainsi des échantillons de 300 et 600 microns à 45K.

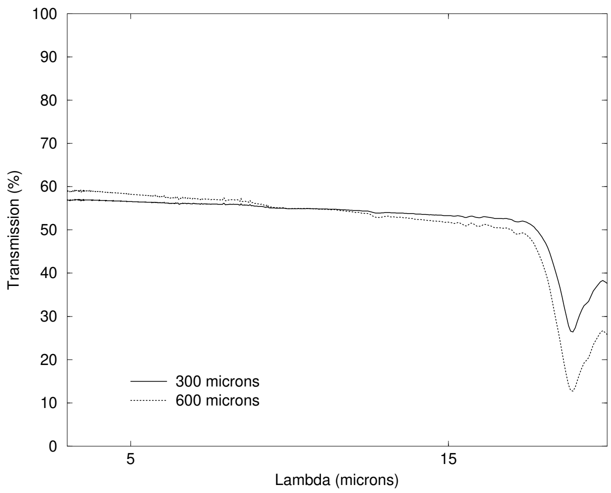

FIG. 3 – *Transmission simulée d'un d'échantillons de GaAs de differentes epaisseurs à 45K.*

Les courbes ont les mêmes formes, il n'y a que les amplitudes qui changent. Etant donné que nous recherchons avant tout une meilleure transmission, nous allons privilégier une faible épaisseur de manière à avoir une transmission plus importante.

Nous venons d'étudier la transmission du hublot du cryostat, ainsi que celle du substrat de GaAs. On va maintenant en deduire leurs influences sur le pic de réponse spectrale. Il est évident que les corrections apportées par ces transmissions vont dépendre de la position du pic en fonction des lambdas. Comme on le voit sur la figure 4, la mesure brute du pic de notre réponse spectrale est située à 17 microns.

Vers cette valeur, les transmissions du hublot et du substrat commencent à diminuer. On attend donc une modification de la forme globale de la réponse. On remarque que le hublot de ZnSe n'affecte que le

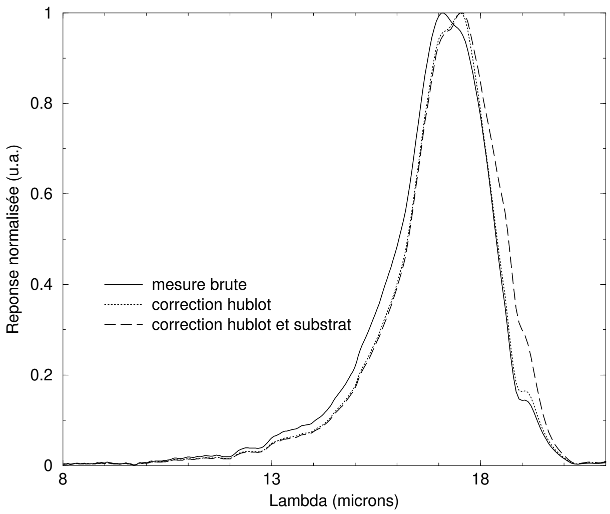

FIG. 4 – *Réponse spectrale normalisée mesusurée puis corrigée d'un composant réel.*

flanc gauche de la courbe tandis que le GaAs modifie la forme du flanc droit de la réponse. Bien que l'influence du GaAs soit importante, celle du hublot l'est encore plus. La transmission du GaAs reste quasiment constante jusqu'à 18 microns, l'influence du substrat n'est donc perceptible qu'à partir de cette longueur d'onde. La courbe de transmission du hublot commence elle à varier à partir de 16 microns. C'est pour cela que l'influence du hublot se fait sentir sur le flanc gauche du pic.

Jusqu'à présent, les transmissions du hublot et du substrat étaient considérées comme constantes (respectivement 71,8% et 74%). la mesure de transmission sur une plaque GaAs implique le passage à travers deux interfaces, d'où le plateau à 0.55(0.74 au carré), alors que la mesure de la réponse implique le passage à travers une seule interface, d'où la valeur 0.74. Une valeur interessante étant la réponse intégrée, la valeur réelle était obtenue en divisant la valeur mesurée par ces constantes. On calcule donc les aires des pics obtenus ci dessus de manière directe (mesure) et de manière classique (transmission supposée constante) dans le tableau 1.

L'erreur que l'on fait en prenant les facteurs cor-

Corrections	Par divisions des aires	Par facteurs correctifs
Hublot	64%	39,4% (38,4%)
GaAs	44%	35% (20,4%)
Hublot+GaAs	140%	88% (37,1%)

TAB. 1 – *Influence des differents paramètres sur la réponses spectrale. L'erreur relative des corrections classiques par rapport aux corrections directes est donnée entre parenthèses.*

rectifs est plus importante pour le hublot que pour le GaAs. L'erreur relative pour le hublot est pratiquement le double de celle pour le GaAs. Malgrè tout, que ce soit pour le hublot ou pour le GaAs, les corrections par des constantes ne rendent pas vraiment compte des corrections apportées par les mesures pour la réponse spéctrale. Si on mesure une réponse au pic de 1 A/W, la réponse corrigée par l'approche classique est de $1+0.88 = 1.88$ A/W, alors qu'en réalité, elle est plutot $1+1.4 = 2.4$ A/W.

La dertemination de la transmission du hublot nous permet de connaitre la limite supérieur de validité de notre instrumentation. A ces longueurs d'onde, nous étudions la transmisssion du GaAs en fonction de sa température et de l'épaisseur de l'échantillon. A partir de ces mesures, nous connaissons la réponse spéctrale corrigées. Les corrections décalent la courbe vers les grands lambdas mais n'ont pas une trop grande influence sur la forme de la réponse.On peut s'attendre à ce que les corrections soient plus importantes pour des pics à plus grandes longueurs d'onde puisque les transmissions sont globalement plus faible. On peut donc en déduire que les corrections par facteurs constants vont être de moins en moins en accord ave les corrections mesurées. Dans ce cas, il sera indispensable de prendre en compte les études faites sur le hublot et le substrat.

Nos remerciements vont évidemment à Alexandru Nedelcu pour nous avoir guidé tout au long de cette étude et avoir pris le temps de nous expliquer les tenants et les aboutissants de l'étude. Nous voudrions également remercier tout le groupe de détection de Thalès Research & Technology de Corbeville pour nous avoir si chaleureusement acceuilli. Nous voudrions aussi remercier particulièrement Olivier et Laurent pour leur précieuse aide technique.

Références

[1] Eric Costard, THESE

[2] Gilbert Gaussorgues, LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE (3e édition), *Techniques et Documentation Lavoisier*

[3] Willardson & Beer, SEMICONDUCTORS AND SEMIMETALS - VOL 3.,*Academic Press New York & London*