

## INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DU SUBSTRAT SUR LES QUALITES DES COUCHES ZnTe DOPES PAR L'As

Reçu le 10/03/2004 – Accepté le 19/06/2007

### Résumé

Dans ce présent article, nous cherchons un régime de températures optimal pour l'obtention des couches minces et monocristallines de ZnTe et dopées par l'Arséniure sont obtenues par la méthode d'épitaxie en phase vapeur. La température de la source (ZnTe)  $T_{sou}$  est fixée à 780°C et celle du substrat en Sélénium de Zinc (ZnSe) ( $T_{sub}$ ) varie de 620°C à 690°C. L'apparition d'une raie intense à caractère excitonique dans le spectre de photoluminescence des couches ZnTe obtenues sous un régime de température  $T_{sou} = 780^\circ\text{C}$  et  $T_{sub} = 670 - 690^\circ\text{C}$  confirme les bonnes qualités cristallines des couches obtenues.

**Mots clés:** ZnTe, épitaxie, photoluminescence, régime optimale ; exciton

### Abstract

In the present paper we look for an optimal regime of temperatures to obtain the ZnTe thin films doped with As using the vapor phase epitaxy method. The source temperature (ZnTe)  $T_s$  is fixed at 780°C and the substrate ( $T_{sub}$ ) varies between 620°C and 690°C. The apparition of an intense exciton band in the photoluminescence specter of the ZnTe films obtained under regime of  $T_s$  temperature 780°C and  $T_{sub} = 670 - 690^\circ\text{C}$  show the high quality of the obtained thin films.

**Keywords:** ZnTe ; Epitaxy, photoluminescence, régime optimale ; Exciton

**A.HELMAOUI \***  
**A.V SIMACHKEVITCH\*\***  
\* Centre Universitaire de Béchar  
Algérie  
\*\* Université d'Etat de Kishinev  
(Rep. Moldavie)

### ملخص

نحاول في هذه الدراسة البحث عن أفضل درجات حرارة للحصول على طبقات رقيقة من ZnTe و التي تحتوي على شوائب من الزرنيخ As و ذلك باستعمال طريقة الأبيتاكسي الطور البخاري (EPV). درجة حرارة المنبع ZnTe عند 780°C. أما درجة حرارة القاعدة (Substrat) و التي اخترناها من ZnSe تتغير من 620°C إلى 690°C. دراسة التآلق الضوئي لهذه العينات عند درجة حرارة الأزوت السائل (77K) بين أن طيف هذا التآلق الضوئي يتרכب من خطين طيفيين ، الرفيعة منهم لها طبيعة أكسيوتونية و التي تشتد عند درجة حرارة القاعدة  $T_{su}$  690°C حتى 670°C. ظهور الخط الأكسيوتوني يؤكد عن جودة العينات المحصل عليها .

: الأبيتاكسي ; التآلق الضوئي ; حرارة القاعدة ; الأكسيوتون

الكلمات المفتاحية: ZnTe الأبيتاكسي ; التآلق الضوئي ; حرارة القاعدة ; الأكسيوتون

# I NTRODUCTION

Le développement intensif de l'électronique à semi-conducteur est lié à l'évolution de la technologie d'épitaxie du dépôt des couches minces à semi-conducteurs de composition chimique reproductible. Car on comparant avec les cristaux volumiques les couches épitaxiales permettent de diminuer le coût, et de réduire le nombre d'opérations technologiques et de créer de nouveaux dispositifs [1].

L'obtention des couches minces avec des propriétés électrophysiques désirées, dépend fortement de la nature, la température du substrat et la méthode d'épitaxie [2].

Le choix de la méthode d'épitaxie doit donc permettre l'obtention des couches pures, avec un dopage bien contrôlé. La nature et la qualité cristallographiques du substrat permettent une croissance monocristalline des couches.

La température d'épitaxie doit garantir, d'une part la désorption des gaz de la surface du substrat, une grande mobilité superficielle des atomes, et une formation rapide des germes de croissance, et d'autres parts, une faible vitesse de diffusion des atomes de substrat dans la couche déposée [3].

L'étude de la recombinaison irradiative (luminescence) des matériaux semi-conducteurs aux basses températures, nous donne beaucoup d'informations concernant le matériau, l'existence et la nature des imperfections.

La température du substrat joue un rôle très important sur les qualités cristallographiques et électrophysiques des couches minces [4]. Donc pour la préparation des échantillons de qualités favorable pour des applications photovoltaïque, on doit choisir des régimes technologiques optimaux de températures d'épitaxie (source, substrat et impuretés).

Dans ce présent travail, on étudie l'influence de la température du substrat sur les qualités et les propriétés électrophysiques des couches minces de ZnTe déposées sur un substrat en ZnSe, et dopées par As, préparées par la méthode d'épitaxie en phase vapeur (EPV). Cette étude est réalisée par le comportement de la répartition spectrale de la photoluminescence (PL) des couches ZnTe déposées à différentes températures de substrat.

## II PREPARATION ET CARACTERISATION DES ECHANTILLONS

Pour la préparation des couches ZnTe, on a choisit la méthode d'épitaxie en phase vapeur [5]. Le schéma de principe est illustré sur la figure 1.

Le principe de la méthode EPV, est le transfert du matériau source (ZnTe) d'une zone à haute température, où se passe la dissociation totale du ZnTe en atomes Zn et Te vers une zone à basses températures, sous l'effet du gradient de température. La vitesse de dépôt dépend de la température de l'épitaxie et varie entre 0.03-0.6  $\mu\text{m}/\text{mn}$ .

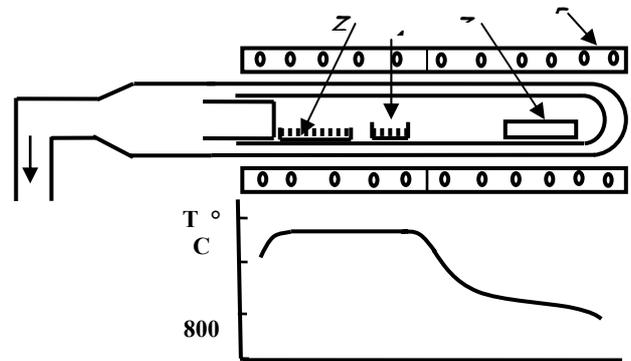


Figure 1 Schéma de l'installation avec le profil de température du four

Tout cela se passe dans un système à vide  $\sim 10^{-4}$  mm.Hg. Le four se déplace de sorte, que le substrat se trouve toujours dans la région à basses températures et la source – dans la zone à hautes températures. La température est mesurée à l'aide d'un thermocouple.

Le dopage par l'Arsenic se passe entre les deux zones. L'arsenic (As) comme le phosphore P et l'Antimoine Sb joue le rôle d'atome accepteur parcequ'ils occupent les lacunes de Te. Les couches monocristallines de ZnTe dopées par As sont obtenues à une température fixe de la source  $T_s = 780^\circ\text{C}$ . Tandis que la température de substrat  $T_{\text{sub}}$  change de 670 à 690°C. Le dopage des couches ZnTe obtenues est réalisé afin de les utilisées plus tard dans la fabrication des cellules solaires à hétérostructure. Les mesures des la concentration et la mobilité des trous sont effectués par effet Hall à la température ambiante. Après les mesures, la concentration des trous dans couches obtenues à ces conditions varie de  $(2.9 \div 9.0) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , la mobilité des trous passe de 60 à 85  $\text{cm}^2/\text{V.s}$  à 300°K suivant les températures du substrat.

La répartition spectrale de la PL des couches ZnTe (As) est obtenue par excitation à l'aide d'un laser d'Impulsion, telle que l'énergie des photons est 3.679eV ( $\lambda = 0.337\mu\text{m}$ ), le niveau d'excitation maximal est de 1022 photons/cm<sup>2</sup>. Les mesures étaient effectuées à la température d'Azote liquide (77K).

n : concentration des trous

### III RESULTATS ET DISCUSSION

Sur figure 2, on illustre la répartition spectrale de la PL des couches obtenues aux températures du substrat de 620 à 690°C. Sur cette la figure, on remarque, que la structure générale du spectre de la PL des couches ZnTe dépend fortement de la température du substrat. On remarque aussi, que indépendamment de la température du substrat, le spectre se compose de deux bandes d'émission spontanée. La position du maximum de la bande aiguë E (bleue) change de 2.357eV (0.5260µm) à 2.355eV (0.5265µm) c'est-à-dire un léger déplacement vers la région des grandes longueurs ondes. La largeur de la demi-hauteur dans ce cas varie de 15 à 18 meV.

La deuxième raie, plus large dont le maximum E' se trouve à 2.304eV (λE' = 0.5382µm) dépend faiblement de la température d'épitaxie. Pour plus de détail sur ce spectre, on prend le spectre des couches obtenues à Tsub= 660°C.

On remarque, que la bande principale E de forme asymétrique est liée à un processus collectif d'un système de grande densité d'excitons et de porteurs libres excédentaires. L'apparition de la raie E (Excitonique) est le résultat d'interaction des excitons avec les trous libres [6]. Comme résultat de cette interaction, se produit l'annihilation de l'exciton, dont une partie de son énergie sera transmise à un trou libre et le reste se dégage sous forme d'un photon d'énergie (hv)E, qui correspond au maximum de la raie E. Le maximum de la bande d'interaction exciton-trou est donné par l'expression [6],

$$(hv)_E = E_g - E_{exc} - \gamma kT \quad (1)$$

Ou Eg : La largeur de la bande interdite du ZnTe, à T=77K, Eg = 2.379eV ;

Eex : Energie de liaison de l'exciton libre qui vaut de 10 à 13 meV dans le ZnTe.

Et

$$\gamma = \frac{m_e^* + m_t^*}{2m_t^*} = 0.575 \quad (2)$$

$m_e^*$  et  $m_t^*$  : Masses effectives des électrons et trous dans le ZnTe.

A 77K, de l'expression (1) on obtient, que (hv)E =2.375 ÷2.359eV, qui coïncide bien avec la position du pic de la bande a caractère Excitonique E.

D'autres parts la dépendance de l'intensité de E avec le niveau d'excitation W (mWatts/cm<sup>2</sup>) est définie par la relation :

$$W = B.n.n_{ex} \quad (3)$$

Ou B : est la Constante de réaction pendant la collision trou-exciton ;

nex : Concentration des excitons.

W : Puissance d'excitation.

Sur la figure (3) on voit, que l'intensité E de la bande E est proportionnelle à la puissance d'excitation W. La nature de la deuxième bande E', hvE' = 2.30eV s'explique par la transition de l'électron de la bande de conduction vers le niveau accepteur. On doit noter, aussi que E' dépend faiblement avec la température d'épitaxie par contre le rapport des intensités IE/IE' dépend fortement de la température de substrat.

L'énergie d'activation des accepteurs ΔEa peut être déterminée à l'aide de l'expression donnée par [6-8] :

$$h\nu_i = E_g - \Delta E_a + (1/2)kT \quad (4)$$

D'où la valeur trouvée de ΔEa est 0.08eV qui se trouve en bonne concordance avec la valeur trouvée en [5]. L'intensité de Ii peut être exprimée sous la forme :

$$I_i = \gamma_a p.n \quad (5)$$

Aux fortes excitations, comme il est le cas, p et n sont proportionnelles à W<sup>0.5</sup> donc IE' est proportionnel à W. D'autres parts sur la figure 5 on représente la dépendance du rapport IE/IE' en fonction de la température du substrat, dans l'intervalle 590 ÷ 670K. On remarque la courbe IE/IE' (Tsub) passe par un maximum à la température Tsub =670K.

On sait bien, que l'apparition des raies liées à l'annihilation des excitons dans le spectre de la PL, démontre les bonnes qualités cristallographiques des couches minces obtenues. En d'autres termes l'apparition des excitons libres dans le spectre de la PL montre la contribution minimale des impuretés dans les processus de recombinaison irradiative dans les couches obtenues, c'est a dire la diminution considerable des défauts. Le changement de l'intensité de l'émission E de nature excitonique avec la température épitaxie est liée à la modification cristallographique des couches ZnTe, tel que dans l'intervalle 660 ÷ 690K, l'intensité de E augmente rapidement et passe par un maximum. Ce résultat est en bonne concordance avec les propriétés électriques tel que la mobilité des trous dans ce même intervalle atteint sa valeur maximale 80cm<sup>2</sup>/V.s

## CONCLUSION

Le résultat d'étude de propriétés des couches ZnTe (As) en fonction de la température du substrat ont permis de déterminer le régime optimal de températures pour la préparation des couches monocristallines et de bonnes qualités cristallographiques.

L'existence de la raie d'émission d'exciton dans le spectre de la PL et la grande mobilité des trous dans les couches minces de ZnTe indiquent le meilleur régime d'épitaxie choisi et bonne candidature de ce matériau pour des applications optoélectroniques.

## REFERENCES

1. Ruth R.P., Marfaing Y. II VI compound» Proceeding of the third International Conference; CA July 12-17 (1987)
2. Chopra, K.L., Das S.R. "Thin film solar cells", Plenum Press, New York (1983)
3. Chopra K.L "Thin film phenomena" Mc Graw-Hill New York (1969)
4. Kazukih. , Tooru T., Mitsuhiro N. Physica Status Solidi (c) V3, 1172 (2006)
5. Wagner H.P., Kuhn W., Gebhardt W., J.Crys.Growth 101,199 (1989)
6. Klinoshim T. Honerlege W.M.B."Quantitative investigation of recombination Involving particule scattering processes in highly excited blend type A2B6 –Compound; Solid State Electron. 21, 1357(1978)
7. S. C. Jain and D. J. Roulston; Solid-St. Electron. 34, 453 (1991).
8. S. C. Jain et al., J. appl. Phys. 68, 3747 (1990).