

# MEKANISME PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS *ALLOY TERNARY* $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ DARI SUMBER-SUMBER METALORGANIK TMGa, TDMAAs DAN TDMASb PADA REAKTOR MOCVD

A. Suhandi<sup>1,2)</sup>, P. Arifin<sup>2)</sup>, M. Budiman<sup>2)</sup>, dan M. Barmawi<sup>2)</sup>

1) Jurusan fisika FPMIPA UPI, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung

2) Lab. FISMATEL, Departemen Fisika FMIPA ITB, Jl. Ganeca 10 Bandung

e-mail : [andisuhandi@upi.edu](mailto:andisuhandi@upi.edu)

## ABSTRAK

*Metarorganic chemical vapor deposition (MOCVD) merupakan metode penumbuhan bahan padat (berbentuk film tipis, terutama untuk bahan semikonduktor) dari fasa uap sumber-sumber metalorganik. Studi tentang mekanisme penumbuhan lapisan tipis bahan padat alloy ternary  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  dari sumber-sumber metalorganik trimethylgallium (TMGa), trisdimethylaminoarsenic (TDMAAs), dan trisdimethylaminoantimony (TDMASb) pada reaktor MOCVD telah dilakukan untuk memahami proses-proses fisika dan kimia yang terlibat didalamnya. Pengetahuan tentang proses-proses yang terjadi selama pembentukan alloy sangat penting guna menentukan pasangan kondisi dan parameter penumbuhan yang tepat untuk menghasilkan alloy  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  berkualitas baik. Mekanisme yang dipelajari meliputi dekomposisi sumber-sumber metalorganik dan reaksi kimia yang mungkin terjadi, inkorporasi unsur-unsur pembentuk alloy serta unsure-unsur kontaminan dalam lapisan yang ditumbuhkan. Paper ini memaparkan hasil-hasil penelaahan tentang mekanisme pembentukan alloy  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  dalam reaktor MOCVD yang telah dilakukan. Untuk memperkuat hasil penelaahan, dalam paparan ini juga dilengkapi dengan data-data hasil karakterisasi film tipis  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  yang ditumbuhkan.*

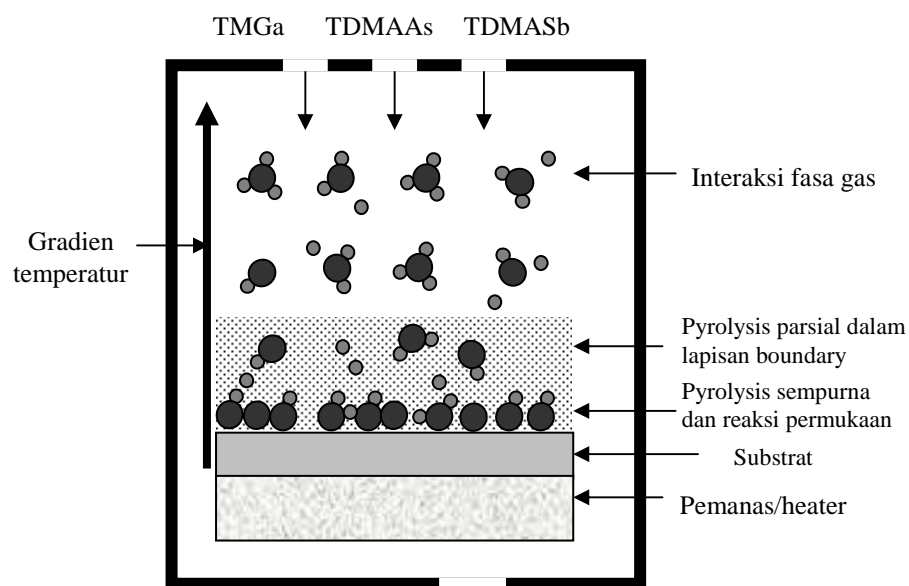
Kata kunci : Pembentukan, Ternary GaAsSb, Sumber metalorganik, MOCVD

## I. Pendahuluan

Secara khusus *alloy ternary*  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  dikembangkan dalam rangka memenuhi kebutuhan akan bahan yang dapat mengemisikan cahaya dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) antara 0.8 – 1.6  $\mu\text{m}$  untuk aplikasi divais dioda laser sebagai salah satu komponen alat pada sistem komunikasi serat optik, yaitu sebagai pengemisi gelombang pemandu. Bahan ini memiliki rentang nilai energi gap ( $E_g$ ) antara 0,72 eV hingga 1,42 bergantung pada kandungan unsur Sb di dalamnya. Rentang energi gap ini sesuai rentang panjang gelombang yang dibutuhkan dalam sistem komunikasi serat optik tersebut [1].

Secara sederhana proses penumbuhan film GaAsSb dengan metode MOCVD dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 [2]. Karena ada gradien panas kearah atas secara vertikal akibat adanya pemanas (*heater*) di bagian bawah, maka precursor-precursor metalorganik yang dimasukkan ke ruang reaksi (*chamber*)

akan mengalami dekomposisi pirolitik di bagian atas. Reaktan-reaktan hasil dekomposisi akan bergerak melintasi lapisan boundary menuju substrat (permukaan tunbuh). Semakin mendekati substrat (pemanas) maka dekomposisi akan menjadi sempurna, dan ketika mencapai substrat akan terjadi reaksi heterogen fasa uap/padat membentuk suatu lapisan tipis bahan padat. Terdapat beberapa parameter yang mengontrol proses reaksi pembentukan film dalam reactor MOCVD, antara lain temperatur penumbuhan, tekanan reaksi, dan rasio laju alir V/III [3]. Sehingga untuk mendapatkan film berkualitas baik, maka perlu dilakukan optimasi ketiga parameter penumbuhan ini. Dengan menggunakan konsep-konsep fisika dan kimia, mekanisme penumbuhan MOCVD dapat dipelajari. Pengetahuan yang baik tentang mekanisme ini akan sangat bermanfaat dalam menentukan kondisi dan parameter penumbuhan yang pas pada proses penumbuhannya.



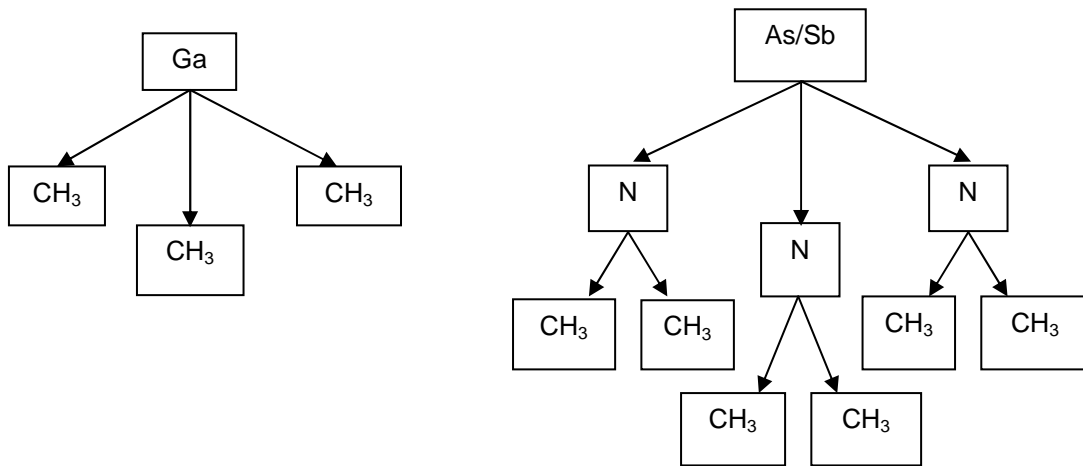
Gambar 1. skematik proses penumbuhan film GaAsSb pada reaktor MOCVD

Paper ini memaparkan tentang kajian mekanisme penumbuhan film GaAsSb dengan MOCVD menggunakan sumber-sumber metalorganik TMGa, TDMAAs, dan TDMASb. Untuk menguji kecocokan hasil kajian ini, maka telah dilakukan *cross check* dengan data-data hasil karakterisasi film GaAsSb yang ditumbuhkan.

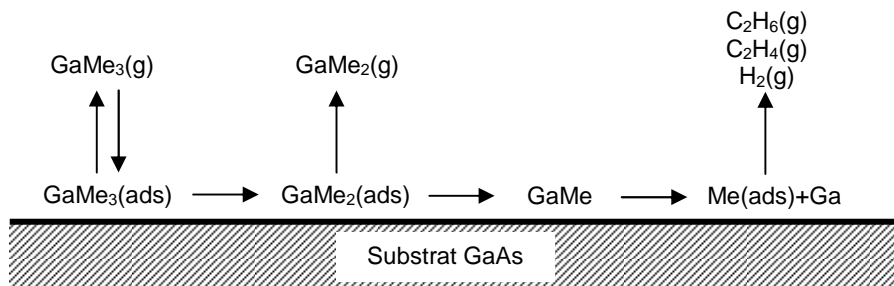
## II. Mekanisme penumbuhan Alloy $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$ pada reaktor MOCVD

Proses reaksi kimia dalam pembentukan lapisan semikonduktor dengan MOCVD terjadi akibat adanya dekomposisi pirolitik dari sumber-sumber metalorganik

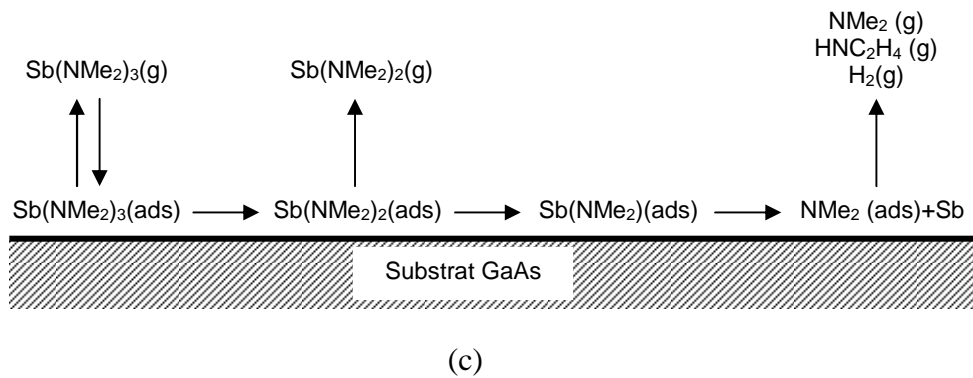
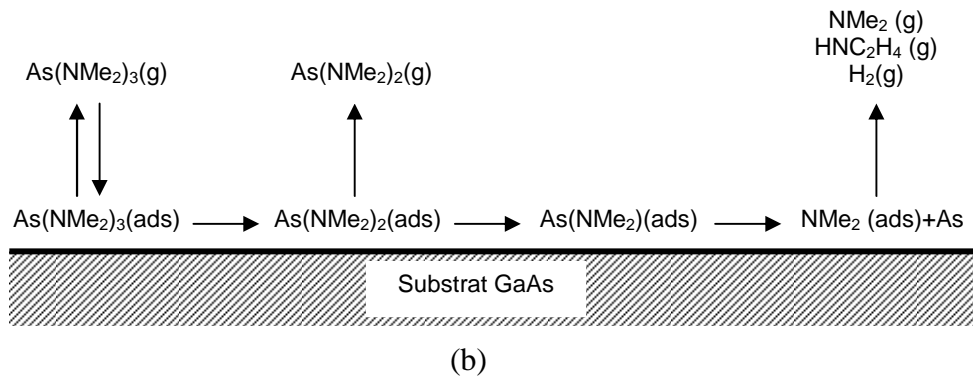
ketika mendapat energi termal dari sistem pemanas. Struktur ikatan kimia dari bahan TMGa dan TDMAAs serta TDMASb ditunjukkan pada gambar 2. Dekomposisi pirolitik dari TMGa akan menghasilkan atom-atom Ga dan radikal-radikal *methyl* [4], sedangkan dekomposisi pirolitik dari TDMAAs (TDMASb) akan menghasilkan atom-atom As(Sb), amino-amino reaktif seperti  $N(CH_3)_2$  dan aziridin ( $HN(CH_2)_2$ ), serta atom-atom H [5]. Mekanisme dekomposisi dari setiap sumber metalorganik tersebut ditunjukkan pada gambar 3a – 3c.



Gambar 2. Struktur ikatan kimia bahan TMGa dan TDMAAs/TDMASb

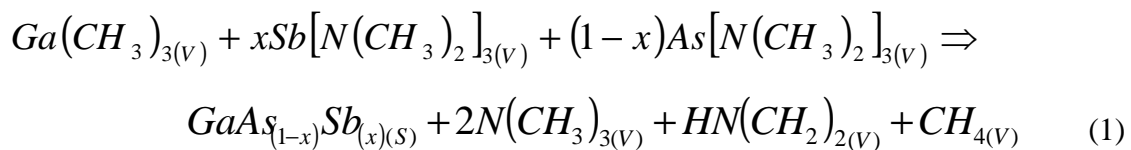


(a)



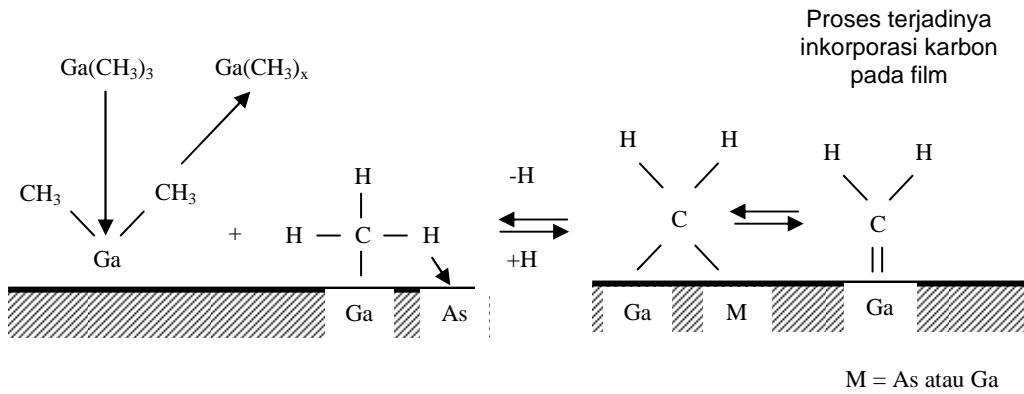
Gambar 3. Skematik dekomposisi untuk pyrolysis untuk setiap prekursor di atas substrat GaAs; (a) TMGa, (b) TDMAAs, (c) TDMASb

Berdasarkan mekanisme dekomposisi tersebut, maka reaksi kimia yang terjadi dalam penumbuhan lapisan GaAs, GaSb, dan  $GaAs_{1-x}Sb_x$  dengan menggunakan TMGa, TDMAAs, dan TDMASb pada reactor MOCVD diprediksi seperti berikut :



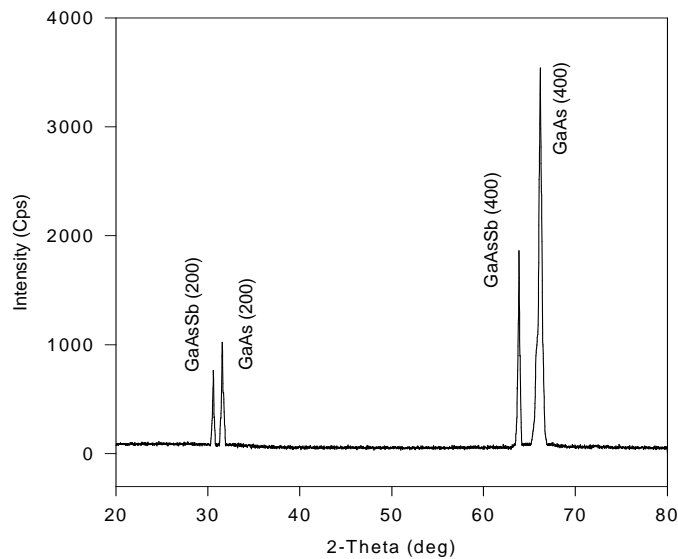
Dalam struktur kimia TMGa, terdapat ikatan langsung antara atom Ga dan atom karbon (C). Akibat adanya dehidrogenasi permukaan spesies  $[Ga = CH_3]$ , maka sangat mungkin akan terbentuk spesies galium *carbene*  $[Ga = CH_2]$  yang memiliki ikatan kuat dengan permukaan substrat. Spesies-spesies  $[Ga = CH_2]$  ini dapat bereaksi dengan atom-atom Ga bebas, yang mengakibatkan atom As tergeser dan kedudukannya ditempati atom karbon [3]. Karbon merupakan atom golongan IV yang memiliki elektron valensi empat. Ketika atom ini berikatan dengan atom Ga dan menempati kedudukan atom As atau Sb yang bervalensi V, maka akan terjadi pembangkitan *hole* dalam film akibat

kekurangan elektron dalam ikatan ini. *Hole* merupakan pembawa muatan berjenis positif, sehingga dari proses ini akan terbentuk semikonduktor tipe-p. Mekanisme masuknya karbon ke dalam film yang ditumbuhkan ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme inkorporasi karbon ke dalam film GaAsSb

### III. Hasil karakterisasi sampel film GaAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> dan pembahasannya

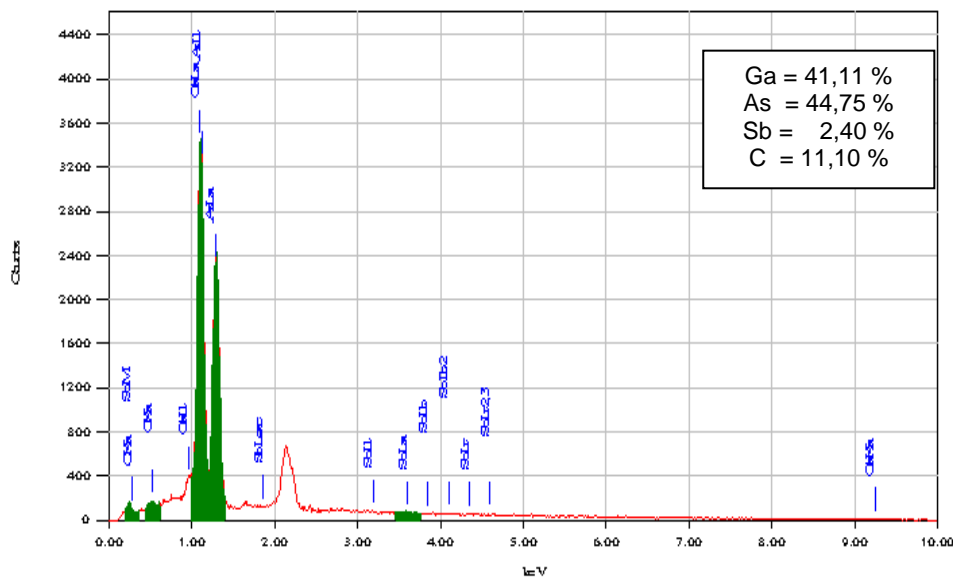


Gambar 5. Pola difraksi sinar-X sampel GaAsSb yang ditumbuhkan pada temperatur 540 dan rasio V/III = 1,2 ( $X_v = 0,42$ )

Gambar 5 menunjukkan pola difraksi sinar-X dari salah satu sampel film tipis GaAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> untuk  $X_v = 0,42$  yang ditumbuhkan pada temperatur penumbuhan 540°C dan rasio V/III = 1,2. Berdasarkan puncak-puncak pola difraksi yang muncul, film ini

memiliki orientasi kristal tunggal, yaitu kearah keluarga bidang (100). Terbentuknya film GaAsSb ditandai dengan adanya pergeseran pola puncak difraksi dari sudut puncak difraksi bahan GaAs kearah sudut puncak difraksi bahan GaSb. Intensitas sinar-X terdifraksi dari puncak-puncak orientasi yang muncul tampak cukup tajam, hal ini menunjukkan bahwa kualitas kristal film  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  yang ditumbuhkan sudah cukup baik.

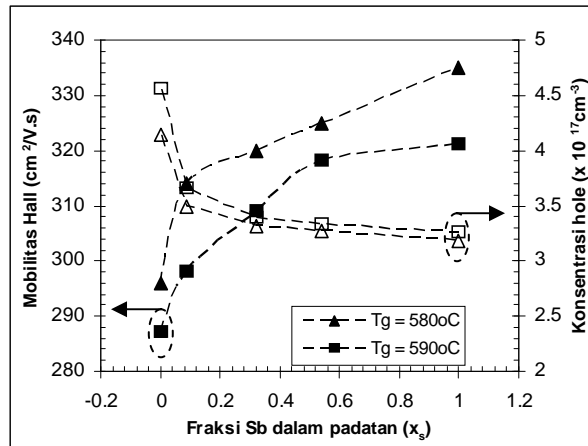
Gambar 6 menunjukkan persen komposisi unsur-unsur yang terikat pada sampel film tipis  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  yang ditumbuhkan pada temperatur  $580^\circ\text{C}$  dan rasio V/III sekitar 4,8 dengan fraksi mol masukan uap sumber Sb ( $x_v$ ) sekitar 0,14, hasil pengukuran menggunakan EDS (*energy dispersive spectroscopy*). Dari data yang terekam menunjukkan bahwa ketiga unsur alloy yaitu Ga, As, dan Sb sudah masuk dalam film. Selain itu terdapat sejumlah unsur karbon dalam film. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi awal tentang adanya inkorporasi atom karbon dalam pembentukan alloy GaAsSb telah menjadi kenyataan.



Gambar 6. Hasil karakterisasi EDS film GaAsSb dengan  $x_v = 0,14$

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi pembawa muatan dengan metode Hall Van der Pauw menunjukkan bahwa background konsentrasi pembawa muatan (hole) berorde  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (lihat gambar 7). Orde sebesar ini dapat dikategorikan sedang. Hal ini dapat dipahami karena sumber kontaminan sebagian besar dari TMGa, sedangkan dari bahan TDMAAs dan TDMASb kemungkinannya kecil, karena pada

kedua bahan ini tidak terdapat ikatan langsung antara atom-atom As atau Sb dengan atom C, melainkan disangga oleh atom N.



Gambar 7. Mobilitas Hall dan konsentrasi hole sebagai fungsi komposisi Sb(x) dari film  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  yang ditumbuhkan dengan rasio V/III = 4,8

#### IV. Penutup

Gambaran mekanisme penumbuhan film GaAsSb dengan MOCVD telah berhasil diperoleh, dan kebenarannya telah dibuktikan melalui *cross check* dengan data-data hasil karakterisasi film GaAsSb yang ditumbuhkan. Dari proses dan hasil dekomposisi pirolitik TMGa, TDMAAs, dan TDMASb dapat dirumuskan persamaan reaksi untuk pembentukan film GaAsSb. Prekursor-prekursor berupa *methyl* dapat menjadi sumber kontaminan karbon yang serius, karena dapat menghasilkan senyawa carbene ( $\text{C}=\text{H}_2$ ) yang memiliki ikatan kuat pada film. Dengan menggunakan sumber-sumber metalorganik yang pada struktur ikatan kimianya tidak terdapat ikatan langsung dengan karbon seperti TDMAAs dan TDMASb, ternyata kandungan kontaminasi karbon pada film dapat ditekan.

## Referensi

- [1] Sun, X., Wang, S., Hsu, J. S., Sidhu, R., Zheng, X. G., Li, X., Campbell, J. C., Holmes, A. L. Jr., GaAsSb : a novel material for near infrared photodetectors on GaAs substrate, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **8**, 817 (2002).
- [2] Stringfellow, G. B., "Organometalic Vapor Phase Epitaxy : Theori and Practice," Academic press Inc., p.32,1989
- [3] Jones, A. C., O'Brien, P., " CVD of Compound Semiconductors : Precursor Synthesis and Applications," VCH, Weinheim, Germany,1997
- [4]. Razegi, M., The MOCVD Challenge, Vol. 1, p. 18, Adam Higler, Philadelphia,1989
- [5] Marx, D., Asahi, H., Liu, X. F., Higashiwaki, M., Villaflor, A. B., Miki, K., Yamamoto, K., Gonda, S., Shimomura, S., Hiyamizu, S., Low temperature etching of GaAs substrate and improved morphology of GaAs grown by metalorganic molecular beam epitaxy using trisdimethylaminoarsenic and triethylgallium, Journal of crystal growth **150** (1995) 551-556