

Morfologi film tipis heteroepitaksi GaSb/GaAs yang
ditumbuhkan dengan MOCVD

Oleh
Drs. Motlan, Msc.

Abstrak :

Pada penelitian ini kami mencoba membuat film berskala nanometer yang ditumbuhkan pada substrat GaAs dengan menggunakan MOCVD. Untuk menganalisa morfologi tersebut digunakan atomic force microscopy. Film tipis ditumbuhkan dengan menggunakan TMSb dan TMGa sebagai precursor dengan kecepatan plow masing-masing 20 sccm dan temperatur substrat sebesar 540°C. Film ditumbuhkan dengan lama deposisi 2 detik. Dari penelitian ini diperoleh film tipis yang terdiri dari pulau kecil (islands) yang berdimensi rata-rata 205 x 109 x 5 nm, masing-masing panjang, lebar dan tinggi rata-rata dari island tersebut. Densitas dari islands sebesar $6.3 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$. GaSb berskala nanometer sangat menarik untuk diteliti karena dapat diaplikasikan pada perangkat optoelektronika seperti semikonduktor laser yang mempunyai efisiensi yang tinggi.

Pendahuluan

Semikonduktor nanostruktur merupakan suatu yang menarik secara teknologi, semakin kecil dimensi dari piranti tersebut semakin cepat dan mempunyai disipasi panas lebih kecil dari yang digunakan sekarang (1). Nanostruktur juga sangat menarik dalam segi teoritis karena efek dari fundamental kuantum mekanika kemungkinan dapat diamati. Dengan perkembangan teknologi penumbuhan film sekarang ini telah dimungkinkan untuk film yang sangat tipis hingga dua dimensi (quantum well), satu dimensi (quantum wire), dan nol dimensi (quantum dot). Quantum well adalah salah satu contoh dari nanostruktur dimana elektron mempunyai gerakan yang terbatas hanya dari nanostruktur dimana elektron mempunyai gerakan yang terbatas hanya pada dua dimensi. Hal ini didapat pada suatu film yang tebalnya kira-kira 5 nm. Sistem seperti ini dapat kita ibaratkan dengan dua dimensi elektron (2DGE). Struktur semikonduktor dimana elektron hanya dapat bergerak hanya dalam satu garis lurus disebut quantum wire. Penggunaan semikonduktor ini pada saat ini adalah pada laser. Jika dimensi dari nanostruktur sedemikian rupa sehingga elektron tidak dapat bergerak lagi maka nanostruktur tersebut quantum dots (QDTs). QDTs sering juga di ibaratkan sebagai atom buatan (2).

GaSb menjadi perhatian Khusus karena senyawa ini mempunyai energy gap yang kecil, karier mobiliti yang tinggi dan mempunyai band-offset bila ditumbuhkan pada GaAs.

Perbedaan kostanta kisi (lattice mismatch) antara epitaxi (GaSb) dan substrat (GaAs) dapat mendorong mode pertumbuhan "Stranski-Krastanow (SK)" yang menghasilkan dots yang mengasembling dirinya (self-assembled dots). Struktur skala nano dots telah dihasilkan pada InGaAs, InAs dan sistem material yang lain baik dengan metalorganic shemical vapor deposition (MOCVD) maupun dengan menggunakan molecular beam epitaxy (MBE). Sistem self-assembled dianggap lebih prospektif dalam beberapa hal dibanding dengan sistem lain karena masalah-masalah teknik yang seperti kerusakan film pada teknik yang menggunakan proses litografi. Kwantum dot GaSb telah berhasil dibuat dengan menggunakan sistem MBE (3). namun sampai sekarang ini belum ada yang dapat menumbuhkannya dengan sistem MOCVD. Padahal secara finansial pengoperasian MOCVD jauh lebih murah dibanding dengan MBE, disamping itu MBE membutuhkan reaktor yang ultra vakum. Secara kwalitatif teori tentang proses dari self assembled telah dijelaskan banyak orang, namun penelitian kwantitatif masih sangat jarang. Dalam penelitian ini kami tampilkan analisa kwantitatif pembentukan dari self assembled GaSb yang ditumbuhkan dengan menggunakan MOCVD.

Ekspirimen

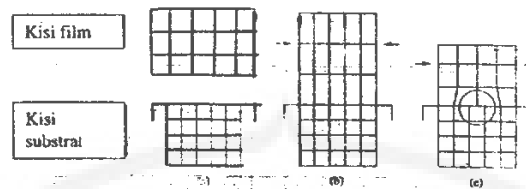
Film tipis GaSb ditumbuhkan dengan menggunakan MOCVD pada Substrat GaAs (100) \pm 0,5°. substrat di bersihkan dengan aseton, metanol dan air yang di ionisai kemudian di masukkan kedalam larutan 8H₂O:1H₂O₂:1H₂SO₄ selama 20 detik. Precursor yang dipergunakan adalah trimethylgallium (TMGa) sebagai sumber dan trimethylantimony (TMSb) sebagai sumber antimoni. Rasio dari TMSb/TMGa adalah 0,72, yaitu dengan mengalirkan kedua metalorganic ke reaktor dengan kecepatan masing-masing 20 sccm. Film dibuat pada temperatur 540°C. Penetapan rasio, kecepatan gas precuor, dan temperatur diatas didasarkan pada hasil maksimum dengan menggunakan sistem yang sama oleh peneliti terdahulu (4).

Sebelum film tipis di buat, kami terlebih dahulu menumbuhkan film tebal dengan kondisi yang sama dalam waktu 2 jam. Hal ini dibutuhkan untuk mengetahui apakah material yang ditumbuhkan itu adalah GaSb yang berkwalitas baik, disamping itu juga untuk mengetahui kecepatan pertumbuhan film.

Kecepatan pertumbuhan film ini digunakan untuk mengekstrapolasi waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan ketebalan film kira-kira beberapa nanometer. Sifat-sifat film tebal dalam eksperimen ini yang kami periksa adalah sifat optiknya, yaitu fundamental energy gap dari film. Pengukuran absorpsi optik digunakan sebuah Cary-5E UV-VIS-NIR spectrophotometer. Ketebalan film yang ditumbuhkan selama 2 jam diukur dengan menggunakan Tensor Alpha Step 500 surface profiler. Untuk memperoleh data kuantitatif dari GaSb kami gunakan suatu atomic force micrographs dengan menggunakan Park Scientific atomic force microscope (AFM) dan ujung dengan aspek ratio 200.

Hasil dan diskusi

Gambar 1 memperlihatkan permukaan film yang dideposisi selama dua jam. Permukaan film sangat rata dan halus. Ketebalan film ini kira-kira 2.8μ , yang berarti kecepatan pertumbuhan film tersebut adalah $1.4 \mu/\text{jam}$ ($\approx 0.39 \text{ nm/detik}$). Hasil spectrophotometer dari film ini menunjukkan bahwa band gap dari film tebal ini adalah 0.72 eV . Hal ini menunjukkan bahwa material yang ditumbuhkan tersebut adalah GaSb (4). Kecepatan pertumbuhan film tersebut digunakan sebagai patokan untuk menentukan lama deposisi untuk mendapatkan ketebalan film hanya beberapa monolayer (ML) saja. Jika kecepatan pertumbuhan film mulai dari awal hingga selesai konstan, maka untuk memperoleh ketebalan film sebesar kira-kira 2 - 4-ML (untuk GaSb 1 ML = 0.3 nm) dibutuhkan waktu sekitar 1,2 dan 3 detik. Penentuan 2-4 ML ini didasarkan pada hasil yang diperoleh peneliti lain yang menggunakan MBE (3). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada ketebalan film sekitar 3,1 ML. Hasil eksperimen ditunjukkan pada tabel 1. Pengamatan AFM dari GaSb yang deposisi dalam waktu 2 dtik diperlihatkan pada gambar 2. Gambar ini memperlihatkan islands yang berukuran $270 \times 180 \times 5 \text{ nm}$, masing-masing panjang, lebar dan tinggi rata-rata dari island tersebut. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa meskipun hanya dengan lama waktu deposit hanya dua detik sebahagian dari islands tersebut telah mulai menyatu. Hal yang sama juga diperoleh oleh Kinder dan Goldys (5), dengan hanya satu detik dimensi rata-rata island yang mereka peroleh adalah sebesar $130 \times 60 \times 15 \text{ nm}$. Densitas dari island paling tinggi diperoleh dari lama penumbuhan 1 detik seperti pada tabel 1 yaitu $6.3 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$, hasil ini lebih tinggi dari yang diperoleh Bozek et al (6). Dan disamping it dimensi dari islands tersebut masih relatif besar untuk dapat dianggap sebagai dots.



Gambar 3: (a) Skematik dari suatu struktur lapisan strain yang dibentuk dengan memaksakan perbedaan kisi film koheren dengan kisi substrat, (b) sebelum mencapai ketebalan kritis kisi film secara koheren masih mengikuti kisi substrat dan (c) setelah ketebalan kritis dicapai sebahagian misfit diakomodasi strain dari kisi dan sebahagian lagi oleh dislokasi. Strain misfit dari kisi dapat ditentukan dari hukum Vergard

$$\epsilon = (a_e - a_s)/a_s$$

dimana a_e dan a_s adalah konstanta kisi dari film dan substrat. Hasil-hasil eksperimen dari penumbuhan semikonduktor heteroepitaksi telah menunjukkan bahwa secara umum transisi ke keadaan relax sebahagian dari strain timbul pada ketebalan yang lebih besar dari yang diprediksi dengan teori transisi yang sederhana (7).

Penumbuhan film dengan mode Stranski-Krastanow dimungkinkan pada heteroepitaksi yang perbedaan konstanta kisinya besar. Sistem tersebut harus mengalami kompresi strain dan lapisan atas (epilayer) harus mempunyai konstanta kisi lebih besar dari pada substrat. System GaSb/GaAs, sebagai contoh, mempunyai strain kisi misfit $\epsilon = 7,8\%$. Oleh karena itu diharapkan sistem GaSb/GaAs akan menumbuhkan mode Stranski-Krastanow.

Penumbuhan film dengan mode Stranski-Krastanow pada dasarnya mempunyai tiga kondisi: (a) Permulaan pelapisan yang sangat tipis (wetting layer) harus muncul, (b) penambahan elastisitas strain misfit sejalan dengan penambahan ketebalan film dan (c) strain elastis yang tidak homogen akan muncul pada islands dan strain ini terinduksi pada substrat, karena pembentukan islands. Mula-mula suatu lapisan film dua dimensi yang mempunyai strain yang sangat besar terbentuk pada permukaan substrat dan energi total dari sistem berkurang sebagai akibat dari terbentuknya islands dimana strain dikurangi dengan dislokasi antar permukaan film dan substrat. Island bertumbuh terus dengan mengkonsumsi lapisan wetting dari pada penambahan materi ke reaktor.

Tinggi rata-rata dari islands pada eksperimen ini pada umumnya relatif konstan. Hal ini juga ditemukan oleh peneliti lain (5). Menurut mereka keseimbangan termodinamik dari ukuran island ditentukan oleh keseimbangan antara energi bebas keseluruhan meliputi strain, energi strain pada permukaan epitaksi dan antar permukaan yang dikurangi oleh energi pembentukan island. Diprediksi bahwa island yang mengalami strain akan bertumbuh terus sampai mencapai ukuran kritis:

$$a_0 = A \exp(\Gamma/ch)$$

dimana $\Gamma = \gamma_e \cos \theta - \gamma_s$; γ_e, γ_s adalah masing-masing energi permukaan (persatuan luas) dari tepi island dan substrat, e berhubungan dengan sifat elastisitas dari substrat, h adalah tinggi island dan $\phi = \{\pi f / \sin(\pi f)\} e \phi h$. Disini f adalah rasio lebar island terhadap jarak antar island, $\phi = e^{-3/2} \cot \theta$ dan θ adalah sudut kontak antara island dan substrat. Setelah ukuran a_0 dicapai, energi minimum dihasilkan dengan cara memanjangkan island, sehingga kalau pun penumbuhan diteruskan maka yang terjadi adalah antara satu island dengan island yang lain akan bersatu. Dengan parameter-parameter penumbuhan island yang kami lakukan ini, sebahagian island telah menyatu dengan island lainnya meskipun waktu penumbuhan hanya 1 atau 2 detik. Sehingga proses evolusi island mulai dari awal kurang dapat diamati. Namun demikian penelitian ini telah dapat digunakan sebagai titik berangkat untuk mencari parameter lain yang dapat digunakan untuk mengontrol ukuran island yang kita inginkan.

Kesimpulan

Dengan menggunakan sistem MOCVD dimungkinkan untuk penumbuhan island GaSB pada substrat GaAs. Dengan parameter yang kami gunakan diperoleh island yang berdimensi kira-kira $205 \times 5 \text{ nm}$ dan densitas $6.3 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$. Untuk memperoleh ukuran island yang lebih kecil lagi maka diperlukan modifikasi parameter yang digunakan. Salah satu kemungkinan yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi besarnya precursor yang memasuki reactor dan percobaan ini sedang kami lakukan.

ooo000ooo

DAFTAR PUSTAKA

- N.F. Johnson, "Quantum dots: Few-body, low-dimensional systems." *J. Phys.: Condens. Matter*, vol. 7, pp. 965-999, 1994.
- M.A. Kastner, "Artificial atoms." *phys. Today*, vol.46 pp. 24-31, 1991
- K.Suzuki, R.A. Hogg, K. Tachibana and Y. Arakawa, "Density Control of GaSb/GaAs self-assembled quantum dots (~25 nm) grown by molecular beam epitaxy," *Jpn.J.Appl. Phys.* vol37,pp.L203-L205,1998.
- A. Subekti, E.M. Goldys, Melisa J. Paterson, K. Drozdowicz-Tomsia and T.L. Tansley, "Atmospheric pressure MOCVD growth window for undoped GaSb." *J. Mater. Res.*, In press.
- B.M. Kinder and E.M. Goldys, "Microstructural evolution of GaSb self-assembled islands grown by metalorganic chemical vapor deposition," *Appl. phys.Lett.* Vol. 73 pp. 1233-1235, 1998.
- R.Bozek et al., "GaSb dots grown on GaAs surface by metalorganic chemical vapour deposition," *Acta Physica Polonica A.* vol 88 pp. 947-976, 1995.
- J.H. van der Merwe, "Crystal Interfaces Part I: Semi-infinite crystals," *J. Appl. Phys.*, vol. 34, pp. 117, 1963.

ooo000ooo