

PENGARUH KETEBALAN LAPISAN PENYANGGA GaN TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK FILM TIPIS GaN DITUMBUHKAN DENGAN METODE *PULSED LASER DEPOSITION*

I Gusti Agung Putra Adnyana, Komang Ngurah Suarbawa dan I Ketut Sukarasa

Departemen Fisika, FMIPA-Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Buleleng, Denpasar, Bali

ABSTRAK

PENGARUH KETEBALAN LAPISAN PENYANGGA GaN TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK FILM TIPIS GaN DITUMBUHKAN DENGAN METODE *PULSED LASER DEPOSITION*. Telah dilakukan studi pengaruh ketebalan lapisan penyangga Galium Nitrida, GaN terhadap struktur kristal dan sifat optik film tipis GaN yang ditumbuhkan dengan metode *Pulsed Laser Deposition (PLD)*. Lapisan penyangga ditumbuhkan pada suhu 450 °C dan laju aliran nitrogen 100 sccm dengan waktu deposisi divariasikan antara 15 menit sampai 45 menit. Film yang diperoleh dikarakterisasi dengan *Profilometer DEKTAK IIA*, Difraktometer sinar-X dan Spektroskopi *UV-Vis*. Ketebalan lapisan penyangga berpengaruh terhadap kualitas kristal dan sifat optik film tipis GaN yang ditumbuhkan di atasnya. Dari hasil analisis pola difraksi sinar-X dan spektrum *UV-Vis*, diketahui bahwa film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga dengan ketebalan 184,6Å cenderung memiliki orientasi tunggal (0002) yang lebih baik dengan *Full Width at Half-Maximum (FWHM)* 0,9° dan energi celah pita (E_g) = 3,4 eV dibanding film tipis GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 370,2 Å dan 560 Å.

Kata kunci : Galium Nitrida, *PLD*, Lapisan penyangga, Struktur kristal, Sifat optik

ABSTRACT

THE GaN BUFFER LAYER THICKNESS INFLUENCE ON CRYSTAL STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF GaN THIN FILMS GROWN BY PULSED LASER DEPOSITION (PLD) METHOD. The influence of the GaN buffer layer thickness on GaN thin films which was grown by pulsed laser deposition (PLD) technique have been studied. The GaN buffer layer it self was deposited at temperature of 450 °C and nitrogen flow rate of 100 sccm. The buffer layer deposition time was varied from 15 to 45 minutes. The GaN thin films obtained were characterized using *Profilometer DEKTAK IIA*, X-ray Diffractometer and *UV-Vis Spectroscopy*. It was found out that the crystal quality and optical properties greatly depend on GaN buffer layer thickness. From X-ray diffraction and *UV-Vis Spectroscopy* analysis, it was shown that the GaN thin films grown on buffer layer with thickness of 184.6Å tend to have a better single orientation of (0002) with *FWHM* 0.9° and band gap energy $E_g = 3.4$ eV than GaN thin films grown on buffer layer with 370.2Å and 560Å thicknesses.

Key words : Gallium Nitride, *PLD*, Buffer layer, Crystal structure, Optical properties

PENDAHULUAN

Keberadaan material semikonduktor grup III-nitrida, seperti Galium Nitrida (GaN), Aluminium Nitrida (AlN), Indium Nitrida (InN) serta paduannya (AlGaIn, InGaIn) dengan sifat-sifat listrik dan sifat optik banyak menarik perhatian para peneliti beberapa tahun belakangan ini. Dengan celah energi yang cukup lebar (*wide band gap*), dan memiliki energi langsung (*direct band gap*) serta memiliki stabilitas termal maka nitrida-nitrida ini dipromosikan sebagai bahan dasar untuk pembuatan devais mikroelektronik dan detektor optik

yang sangat sensitif terhadap spektrum hijau, biru dan *ultraviolet*. Bahkan belakangan ini sudah berhasil dipabrikasi *Light Emitting Diode (LED)* biru dan hijau dan dioda laser dengan GaN sebagai material dasarnya.

GaN dan paduannya seperti AlGaIn, InGaIn mempunyai *potential breakdown*, kecepatan *drift* elektron dan mobilitas elektron yang tinggi sehingga material ini dapat diaplikasikan sebagai devais elektronik seperti Transistor Efek Medan (*FET, High FET, H-EMT*) dan *CD-ROM* dengan densitas tinggi [1-2].

Studi pertama tentang sifat optik dari film tipis GaN yang ditumbuhkan pada kristal adalah dengan teknik *Halide Vapour Phase Epitaxy (HVPE)* melalui reaksi NH_3 dengan Galium Klorida. Berbagai macam metode dikembangkan untuk menumbuhkan GaN dengan sifat-sifat uniknya, diantaranya yang sudah berhasil dilakukan adalah *Metal-Organic Chemical Vapour Deposition (MOCVD)* dan *Molecular Beam Epitaxy (MBE)* dengan optimasi parameter-parameter deposisi sesuai dengan metode deposisi yang digunakan [3].

TEORI

Pada makalah ini akan dilaporkan salah satu teknik penumbuhan film tipis (*thin film*) yang berkembang pesat saat ini yaitu teknik *Pulsed Laser Deposition (PLD)* yang dikenal juga sebagai teknik *Laser Ablation Deposition (LAD)* [4].

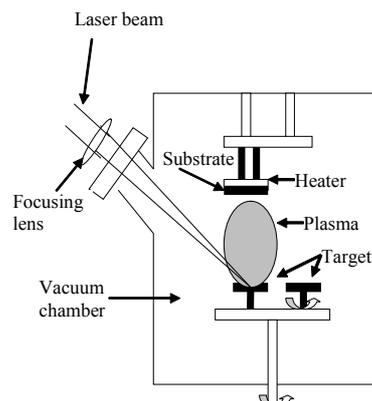
Keistimewaan dari teknik *PLD* ini adalah proses evaporasi tinggi yang menghasilkan pancaran plasma yang kuat dan adanya transfer komposisi target menjadi deposisi film, adanya kontrol *atomic-level* dengan mengatur energi laser dan laju pulsa (*pulse rate*) dan proses secara *in-situ* untuk lapisan struktur banyak (*heterostructures*) dengan menggunakan target ganda.

Metode *PLD* juga merupakan metode penumbuhan yang relatif sederhana, lebih murah namun memberikan kualitas film yang baik, sehingga sifat-sifat optik, listrik akan bagus dan juga stoikiometri dari film tetap terjaga [5].

Untuk penumbuhan epitaksi film tipis GaN dibutuhkan substrat yang cocok. Substrat yang digunakan haruslah berupa kristal tunggal dengan konstanta kisi dan koefisien muai termal yang cocok dengan bahan yang ingin ditumbuhkan (target), sehingga diperoleh hasil yang optimal (kualitas film yang baik). Namun, untuk memperoleh substrat yang cocok untuk GaN sangat sulit didapat. Substrat alternatif yang umum dipergunakan untuk penumbuhan film tipis GaN adalah *Sapphire* (Al_2O_3) [6]. Penggunaan substrat *Sapphire* ini karena *Sapphire* memiliki *lattice-mismatch* yang relatif kecil terhadap GaN yaitu sebesar 16% dan juga banyak tersedia dalam bentuk kristal tunggal [7].

Adanya ketidaksesuaian kisi dan perbedaan koefisien muai termal antara substrat *Sapphire* dengan GaN mengakibatkan sulit untuk mendapatkan film tipis berkualitas tinggi dengan morfologi permukaan film tipis yang rata dan bebas dari retak. Untuk mengatasi hal tersebut ditumbuhkan lapisan penyangga (*buffer layer*) di atas substrat dengan berbagai variasi parameter yang sesuai dengan metode yang digunakan, sebelum dilakukan deposisi epitaksi film tipis GaN.

Pada makalah ini akan dilaporkan hasil studi pengaruh ketebalan lapisan penyangga GaN terhadap struktur kristal dan sifat optik film tipis GaN.



Gambar 1. Skema sistem Pulsed Laser Deposition (PLD)

METODE PERCOBAAN

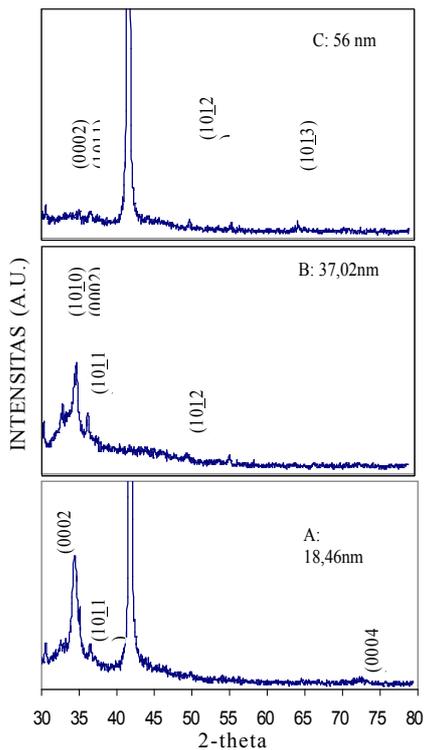
Skema dari sistem reaktor *PLD* ditunjukkan pada Gambar 1. *Stainless steel vacuum chamber* dievakuasi dengan menggunakan *rotary pump* hingga mencapai *base pressure* 10^{-5} mbar. Laser Nd:YAG ($\lambda = 355$ nm) digunakan untuk menguapkan target GaN dengan kemurnian 99,99 % dengan energi 250 mJ.

Penyerapan radiasi laser oleh target GaN menghasilkan semburan plasma pada bagian permukaan depan target. Target yang akan diuapkan disimpan pada jarak 2,5 cm dari substrat dalam lingkungan gas nitrogen dengan aliran 100 *scm*. Substrat yang digunakan adalah *Sapphire* dengan orientasi (0001) yang sebelumnya dicuci metanol, aseton dan *DI water*. Selanjutnya *dietching* dengan menggunakan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_3\text{PO}_4 : \text{DI Water} = 3 : 1 : 1$ selama 5 menit dan dikeringkan dengan menyemprotkan gas nitrogen pada permukaan substrat.

Pada proses deposisi, laju deposisi dan ketebalan film dikontrol oleh laju repetisi pulsa dan waktu deposisi. Dalam penelitian ini telah ditumbuhkan film tipis GaN dengan ketebalan 77,1 nm dengan suhu substrat 650 °C di atas lapisan penyangga. Ketebalan lapisan penyangga divariasikan dengan memvariasikan waktu deposisi lapisan penyangga antara 15 menit hingga 45 menit pada suhu substrat 450 °C. Film tipis GaN dikarakterisasi dengan Difraktometer sinar-X (*XRD*) menggunakan radiasi CuK_α untuk mempelajari struktur kristal dan Spektrometer *UV-Vis* untuk mengetahui spektrum absorpsi optik dan besarnya energi celah pita. Sedangkan ketebalan lapisan penyangga dan film tipis GaN diukur dengan *Profilometer* DEKTAK IIA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil karakterisasi *XRD* pada ketiga sampel film tipis (A,B,C) yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga GaN dengan menggunakan substrat *Sapphire* diperoleh pola difraksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat bahwa pola difraksi ketiga film

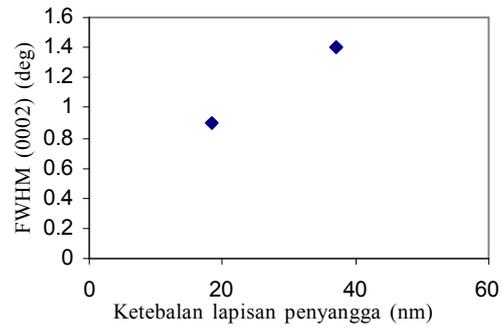


Gambar 2. Hasil Pengukuran XRD film tipis GaN dengan ketebalan *buffer layer* (A).18,46Å, (B). 370,2Å dan (C).560Å

tipis (A,B,C) dengan ketebalan lapisan penyangga GaN yang berbeda-beda memiliki puncak pada $2\theta = 32,4^\circ, 34,6^\circ, 36,9^\circ, 48,3^\circ, 63,7^\circ$ dan $73,3^\circ$. Harga 2θ ini jika dibandingkan dengan orientasi kristal pada target GaN ternyata bersesuaian dengan orientasi kristal secara berurutan pada $(10\bar{1}0)$, (0002) , $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}2)$, $(10\bar{1}3)$, (0004) .

Pola difraksi XRD film tipis dengan ketebalan lapisan penyangga 370,2Å (sampel B) menunjukkan semakin banyak puncak-puncak yang muncul dengan orientasi $(10\bar{1}0)$, (0002) , $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}2)$. Meskipun orientasi (0002) tetap muncul tetapi bentuk kurvanya cenderung melebar. Kurva untuk orientasi $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ semakin tinggi intensitasnya sedangkan orientasi (0004) tidak muncul. Pada saat film tipis ditumbuhkan di atas ketebalan lapisan penyangga GaN 560Å (sampel C) muncul orientasi kristal $(10\bar{1}0)$, $(10\bar{1}2)$, $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}3)$ dan orientasi (0002) semakin melebar sehingga intensitasnya hampir sama dengan puncak-puncak yang lain sedangkan orientasi (0004) tetap tidak muncul.

Pada film tipis dengan ketebalan lapisan penyangga GaN 370,2Å dan 560Å terlihat semakin banyak puncak-puncak yang muncul dengan orientasi yang sama dengan orientasi GaN *bulk*. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pola pertumbuhan pulau-pulau pada bagian teratas dari lapisan penyangga sudah tidak mengikuti arah kristal substrat karena terlalu tebal, sehingga pada saat film GaN ditumbuhkan di atas lapisan penyangga ini, orientasi kristalnya mengikuti



Gambar 3. Grafik FWHM (0002) terhadap ketebalan lapisan penyangga

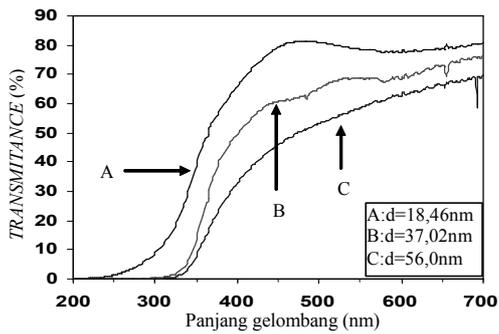
orientasi lapisan penyangga yang berbentuk polikristal. Meskipun pada film tipis yang ditumbuhkan di atas ketebalan lapisan penyangga 184,6Å, masih polikristal namun sudah menunjukkan kecenderungan pola struktur kristal tunggal dengan orientasi (0002) yang dominan yang sesuai dengan orientasi substrat. Hal ini menunjukkan struktur film tipis GaN ini (sampel A) lebih baik dari pada film tipis yang ditumbuhkan pada ketebalan lapisan penyangga 370,2Å dan 560Å.

Kualitas kristal film tipis GaN direpresentasikan oleh harga *Full Width at Half-Maximum* (FWHM). Perhitungan FWHM diambil dari salah satu orientasi yang dominan yaitu, orientasi (0002) . Semakin kecil harga FWHM semakin baik kualitas kristal yang terbentuk dan sebaliknya. Pada Gambar 3 diperlihatkan grafik hubungan FWHM terhadap ketebalan lapisan penyangga GaN.

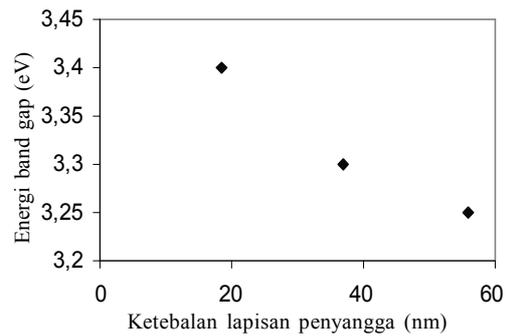
Harga FWHM yang besar pada film GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga dengan ketebalan 370,2Å ($FWHM=1,4^\circ$) dan ketebalan 560Å ($FWHM$ tidak terukur) menunjukkan bahwa kualitas kristal film GaN tersebut kurang baik. Ini kemungkinan diakibatkan karena lapisan penyangga yang terlalu tebal menyebabkan film tipis yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga tersebut menjadi tidak homogen sehingga meningkatkan harga FWHM. Kualitas kristal dari film GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 184,6Å lebih baik dibandingkan dengan ketebalan 370,2Å dan 560Å yang ditunjukkan dengan menurunnya harga FWHM dari film GaN menjadi $0,9^\circ$.

Untuk mengetahui sifat-sifat optik dari film tipis GaN dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis dalam daerah panjang gelombang 200 nm hingga 700 nm pada suhu kamar 300K. Hasil karakterisasi spektrofotometer terhadap ketiga film tipis dalam bentuk kurva transmitansi terhadap panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat kurva transmitansi untuk ketiga film A, B dan C yang menunjukkan kecenderungan yang berbeda-beda terhadap perubahan panjang gelombang. Pada panjang gelombang pendek, relatif tidak ada foton yang ditransmisikan sedangkan jika dilihat disekitar transmisi fundamental yaitu pada saat



Gambar 4. Kurva Transmittansi terhadap panjang gelombang



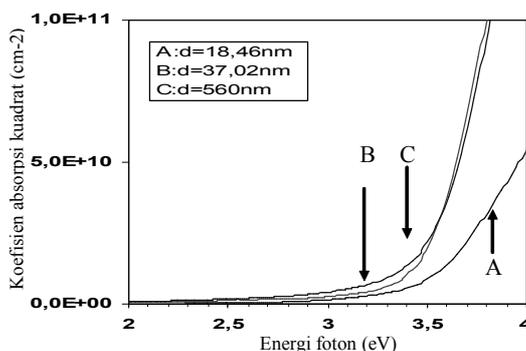
Gambar 6. Grafik energi celah pita, E_g terhadap ketebalan lapisan penyangga

foton diserap oleh elektron untuk pindah dari tepi atas pita valensi ke tepi bawah pita konduksi (proses transisi langsung antar pita) yaitu pada daerah panjang gelombang (λ) = 360 nm hingga 365 nm tampak perubahan kurva transmittansi yang cukup besar untuk ketiga film tipis GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 560Å, 370,2 Å dan 184,6Å.

Jika ditinjau pada panjang gelombang tinggi, transmittansi untuk ketiga film tipis GaN (sampel C, B, A) berturut-turut sekitar: 50%; 60%; 85%. Berbeda dengan film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga 184,6Å (sampel A) yang mempunyai transmittansi yang cukup tinggi, transmittansi film GaN dengan lapisan penyangga 370,2Å dan 560Å mempunyai transmittansi yang rendah. Seharusnya pada panjang gelombang tersebut transmittansinya besar, karena pada panjang gelombang tersebut energi foton tidak cukup untuk dapat memindahkan elektron ke pita konduksi kecuali ada keadaan-keadaan tertentu yang hadir dalam celah pita akibat adanya cacat pada film.

Dari hasil karakterisasi spektrofotometer *UV-Vis* dapat dibuat kurva koefisien absorpsi kuadrat terhadap energi foton. Dengan menggunakan metode *Tauc* yaitu dengan melakukan ekstrapolasi secara linier terhadap masing-masing kurva yang ditunjukkan pada Gambar 5, diperoleh energi celah pita (E_g) untuk masing-masing film GaN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Dari hasil ekstrapolasi yang telah dilakukan pada masing-masing kurva pada Gambar 6, diperoleh



Gambar 5. Kurva koefisien absorpsi kuadrat terhadap energi foton

harga-harga energi celah pita untuk masing-masing film yaitu 3,4 eV untuk film dengan ketebalan lapisan penyangga 184,6Å (sampel A), 3,3eV untuk film dengan ketebalan lapisan penyangga 370,2Å (sampel B) dan 3,25 eV untuk film dengan ketebalan lapisan penyangga 560Å (sampel C).

Dari Gambar 6, dapat diketahui bahwa ketebalan lapisan penyangga mempengaruhi sifat optik dari film. Penurunan energi celah pita pada film GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 370,2Å dan 560Å menunjukkan bahwa sifat optik dari film GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 184,6Å adalah lebih baik dibandingkan dengan film tipis GaN untuk sampel B dan sampel C. Ini diduga karena pada lapisan penyangga yang terlalu tebal kemungkinan timbulnya cacat cukup besar.

KESIMPULAN

Telah berhasil ditumbuhkan lapisan film tipis GaN di atas lapisan penyangga GaN dengan teknik *PLD*. Struktur kristal dan sifat optik film tipis GaN sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan penyangga (*buffer layer*). Kualitas kristal film tipis GaN cenderung meningkat pada ketebalan lapisan penyangga 184,6Å dengan *FWHM* (0002) sebesar 0,9° dan energi celah pita 3,4 eV. Penurunan kualitas kristal dengan bertambahnya ketebalan lapisan penyangga terkait dengan koordinasi antar atom dan keberadaan cacat kristal pada lapisan penyangga yang terlalu tebal.

DAFTAR ACUAN

- [1]. D. COLE and J.G. LUNNEY, *Material Science and Engineering*, **B50** (1997) 20-24
- [2]. M. GROSS, G. HENN and H. SCHRÖDER, *Material Science and Engineering*, **B50** (1997) 16-19
- [3]. GALLINA POPOVICI, HADIS MORKOÇ and S.N. MOHAMMAD, *Deposition and Properties of Group III Nitrides by Molecular Beam Epitaxy*, Group III-Nitride Semiconductor Compounds Physics and Applications, Bernard Gil (Ed), Oxford University Press, New York, (1998)

- [4]. JACQUES CONSTANT STEFAN KOOLS, *Laser Ablation and Deposition of Metals*, Proefschrift, Geboren te Wilrijk, Belgie, (1992)
- [5]. P. MEREL, M. CHAKER, M. TABBAL and H. PEPIN, *Appl. Surface Science*, **177** (2001) 165-171.
- [6]. P.G. MIDDLETON, C. TRAGER-COWAN, K.P. O'DONNELL, T.S. CHENG, S.E. HOOPER and C.T. FOXON, *Material Science and Engineering*, **B43** (1997) 154-156
- [7]. OLIVER BRIOT, *MOVPE, Growth of Nitride, Group III-Nitride Semiconductor Compounds Physics and Applications*, Bernard Gil (Ed), Oxford University Press, New York, (1998)