

# **Pengaruh ketebalan lapisan penyangga pada struktur kristal film GaN yang ditumbuhkan dengan Pulsed Laser Deposition**

Dadi Rusdiana

*Department fisika FPMIPA UPI, Jl. DR.Setia Budi 229 Bandung  
E-mail: dadi\_rusdiana@upi.edu*

## **Abstrak**

Telah ditumbuhkan film tipis gallium nitrida di atas substrat sapphire (0001) dengan menggunakan teknik pulsed laser deposition. Penggunaan lapisan penyangga antara substrat sapphire dan film tipis GaN telah diteliti, yang menunjukkan bahwa sifat-sifat film seperti struktur kristal dan morfologi permukaan mengalami peningkatan kualitas. Hal tersebut nampak pada hasil karakterisasi XRD yang memperlihatkan kualitas kristal mengalami peningkatan apabila tebal lapisan penyangga sekitar 25 nm dengan munculnya orientasi kristal yang sejajar sumbu c yaitu (0002) dan (0004). Orientasi kristal yang lain seperti (1010) dan (1011) akan muncul apabila tebal lapisan penyangga dinaikan hingga 56 nm.

**Kata kunci** : lapisan penyangga, GaN, Pulsed laser deposition

## **Abstract**

Thin films gallium nitride have been grown on (0001) sapphire substrate using pulsed laser deposition. The use of buffer layers between sapphire substrate and GaN thin films have been studied. The results showed that film properties such as crystal structures and morphological properties were improved. XRD characterization show there was most probability to create a better of crystal structure with c- axis orientations of (0002) and (0004) if the buffer layer thickness was 25 nm. In addition to that if the thickness of buffer layer increases up to 56 nm the quality of crystal structure will be reduced. This can be seen by the addition peaks of (1010) and (1011) orientations. By using several buffer layer thicknesses, it is found that the optimum thickness of buffer layer was around 25 nm.

**Keywords** : Buffer layer, GaN, Pulsed laser deposition

## **1. Pendahuluan**

Material grup III-Nitrida seperti aluminum nitrida, gallium nitrida, dan paduan lainnya merupakan material yang memiliki sifat-sifat yang unik. Salah satunya memiliki celah energi yang lebar yang bermanfaat untuk devais yang beroperasi pada temperatur tinggi. Selain itu semikonduktor yang ber celah energi lebar dapat menghasilkan devais yang ber-noise rendah sehingga cocok untuk detektor optik yang sangat sensitif dalam spektrum hijau, biru dan ultra violet [1]. Dioda cahaya (LED) dengan warna hijau dan biru berbasis GaN telah di buat [2-5] dan baru-baru ini dioda laser InGaN kuantum well telah dibuat [6].

Epitaksial film tipis GaN telah ditumbuhkan dengan menggunakan teknik yang berbeda-beda meliputi metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) [7], molecular beam epitaxy (MBE) [8] dan vapour phase epitaxy (VPE) [9]. Dibandingkan dengan teknik MOCVD dan MBE, pulsed laser deposition (PLD) [10] merupakan teknik penumbuhan yang relatif masih baru yang digunakan secara luas untuk penumbuhan film tipis dengan material oksida seperti ferroelektrik dan superkonduktor. Beberapa keuntungan dari PLD untuk penumbuhan film tipis yang berkualitas tinggi seperti penumbuhan material berkomponen banyak menjadi satu target tunggal yang di ablasi dengan laser ultraviolet membuat teknik tersebut secara luas dipelajari sebagai metoda penumbuhan nitrida.

Pada paper ini akan diteliti pengaruh pemberian lapisan penyangga antara substrat dan film GaN pada kualitas kristal film GaN.

## 2. Eksperimen

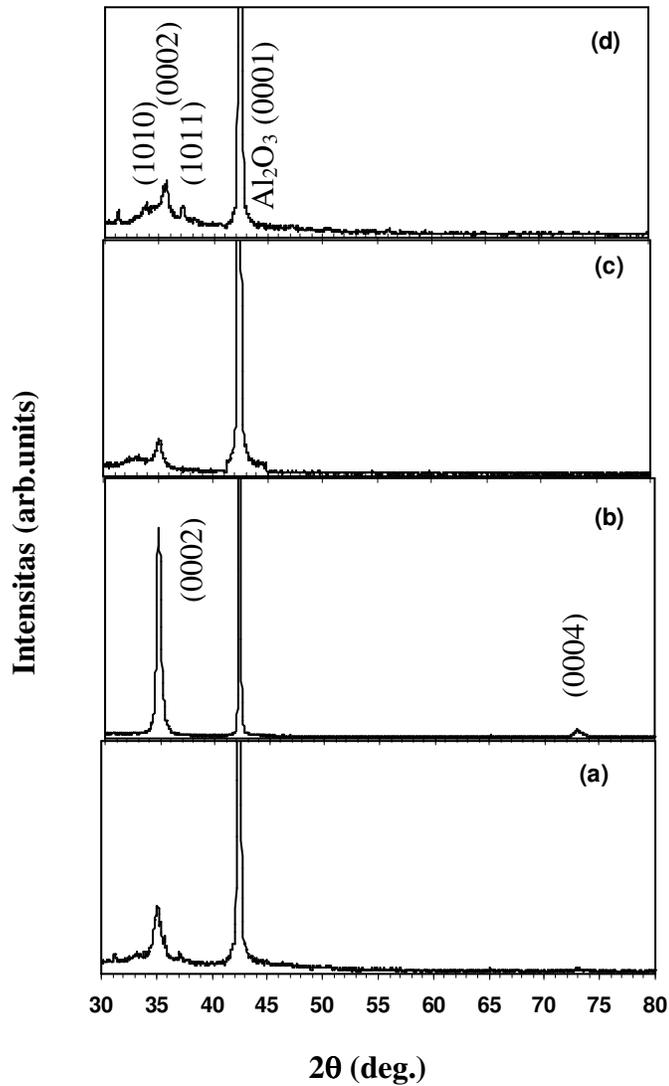
Film tipis GaN ditumbuhkan di atas substrat sapphire (0001) yang sebelumnya telah dibersihkan dengan aseton dan methanol selama masing-masing 5 menit kemudian di etsa dalam campuran larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_3\text{PO}_4 = 3:1$  selama 5 menit. Target GaN yang berukuran diameter 16 mm di buat dengan memberikan tekanan hidrolis pada serbuk GaN dengan kemurnian 99,99% dengan tekanan  $7.46 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$  kemudian di sintering pada temperatur  $650^\circ \text{C}$  selama 15 jam dalam lingkungan nitrogen. Target GaN di simpan di dalam chamber dan ditempatkan pada holder yang dapat diputar dengan kecepatan putaran 20 rpm. Deposisi dapat di mulai bila base pressure telah mencapai  $10^{-5}$  mbar dan substrat telah dipanaskan sampai temperatur yang diinginkan dalam riset ini temperatur substrat adalah  $680^\circ \text{C}$ . Sedangkan temperatur untuk penumbuhan lapisan penyangga adalah  $450^\circ \text{C}$ . Laser Nd:YAG yang memiliki energi 250 mJ diarahkan pada target yang berjarak 2 cm dari substat. Pada riset ini parameter yang divariasikan selama deposisi adalah ketebalan lapisan penyangga yaitu 18 nm, 25 nm, 37 nm dan 56 nm. Setelah deposisi substrat didinginkan secara perlahan sampai mencapai temperatur kamar dengan laju  $5^\circ \text{C}/\text{menit}$  dengan aliran nitrogen 100 sccm.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil karakterisasi difraksi sinar-X pada film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas substrat sapphire dengan variasi ketebalan lapisan penyangga yang ditumbuhkan dengan temperatur substrat  $450^\circ \text{C}$ , nampak bahwa pola spektrum difraksi sinar-X (Gambar 1(a)) pada film tipis GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 18 nm (yang sebelumnya telah dilakukan pengukuran ketebalan lapisan penyangga dengan menggunakan peralatan profilometer Dektak IIa pada studi lapisan penyangga) masih berstruktur polikristal hal ini ditunjukkan dengan munculnya puncak-puncak pada sudut  $2\theta$   $32,2^\circ$ ,  $34,6^\circ$  dan  $36,7^\circ$  yang masing-masing bersesuaian dengan bidang kristal (1010), (0002) dan (1011) namun demikian intensitas puncak untuk bidang kristal (0002) masih mendominasi bila dibandingkan dengan puncak-puncak untuk bidang kristal (1010) dan (1011).

Kemudian pada film tipis GaN dengan ketebalan lapisan penyangga 25 nm ternyata kualitas kristalnya menjadi lebih baik hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya intensitas puncak bidang kristal (0002) (Gambar 1.(b)) dan menyempitnya nilai *Full Width at Half*

*Maximum* (FWHM) menjadi  $0,4^\circ$  (Gambar 3). Sedangkan puncak untuk bidang kristal (10 $\bar{1}$ 0) dan (10 $\bar{1}$ 1) menjadi tidak ada bahkan muncul puncak baru untuk bidang kristal (0004) pada sudut  $2\theta$   $72,7^\circ$  C. Hal ini menunjukkan bahwa kristal GaN tumbuh di atas substrat searah dengan sumbu-c.



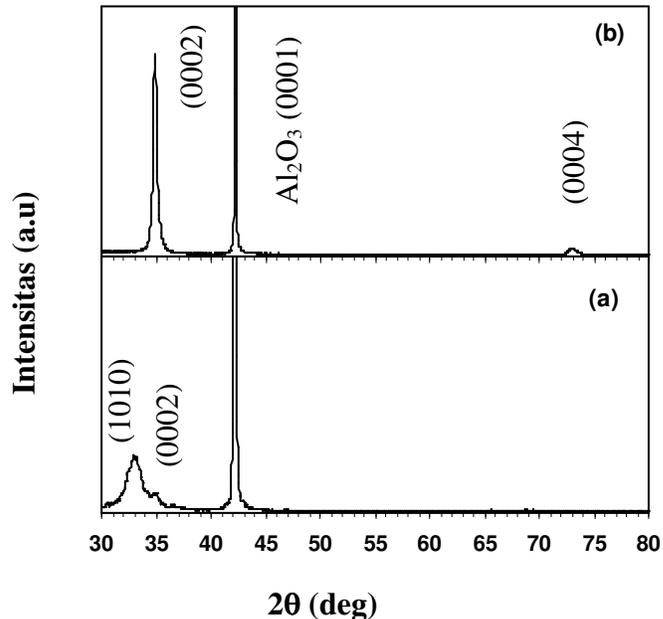
Gambar 1. Pola XRD film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas substrat safir dengan variasi ketebalan lapisan penyangga (a) 18 nm, (b) 25 nm, (c) 37 nm, dan (d) 56 nm.

Semakin tebal lapisan penyangga ternyata kualitas kristal mengalami penurunan hal tersebut dapat ditunjukkan dengan berkurangnya intensitas pada puncak bidang kristal (0002) diikuti dengan munculnya puncak-puncak bidang kristal lain yaitu (10 $\bar{1}$ 0) dan

(1011) (Gambar 1.(c) dan 1.(d)). Menurut O'Donnell K.P. [11], hal tersebut di atas diduga terjadi karena proses pembentukan nukleasi pada lapisan penyangga yang tipis (18 nm dan 25 nm) tidak akan menaikkan ukuran butiran kristal (*nuclei*) karena dibatasi oleh ketebalan lapisan yang mendekati keadaan nano kristal, di bawah kondisi tersebut akan terjadi pembentukan nukleasi yang merata dengan permukaan lapisan yang datar (*flat*), sehingga lapisan epitaksi GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga dengan permukaan yang datar tersebut kualitasnya akan meningkat hal tersebut dapat ditunjukkan dengan munculnya puncak pada bidang kristal (0002) dengan intensitas yang dominan pada Gambar 1.(a) dan 1.(b) dengan FWHM masing-masing  $0,95^{\circ}$  dan  $0,4^{\circ}$ .

Untuk lapisan penyangga yang semakin tebal (56 nm), pembentukan nukleasi akan terdistribusi secara acak dengan ukuran butiran kristal yang tidak merata (*rough*), sehingga akan terbentuk lapisan dengan struktur polikristal. Dengan demikian apabila ditumbuhkan lapisan epitaksi GaN di atas lapisan penyangga tersebut maka struktur lapisan epitaksi tersebut akan mengikuti struktur lapisan penyangga yaitu struktur polikristal seperti nampak pada Gambar 1.(d).

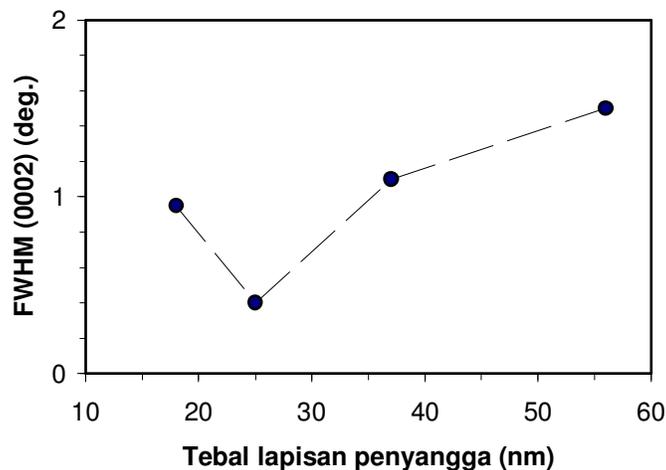
Untuk lapisan penyangga dengan tebal 37 nm, mekanisme pembentukan nukleasi terjadi dengan distribusi yang acak dan tidak merata, sehingga puncak bidang kristal (0002) intensitasnya akan menurun dengan FWHM yang melebar sekitar  $1,1^{\circ}$ . Sedangkan puncak bidang kristal (1010) mulai tumbuh dengan intensitas yang kecil (Gambar 1.(c)), hal tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal lapisan epitaksi GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga dengan tebal 37 nm mulai mengarah pada struktur polikristal.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-X film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas substrat safir pada temperatur  $680^{\circ}$  C a) tanpa lapisan penyangga , b) dengan lapisan penyangga 25 nm

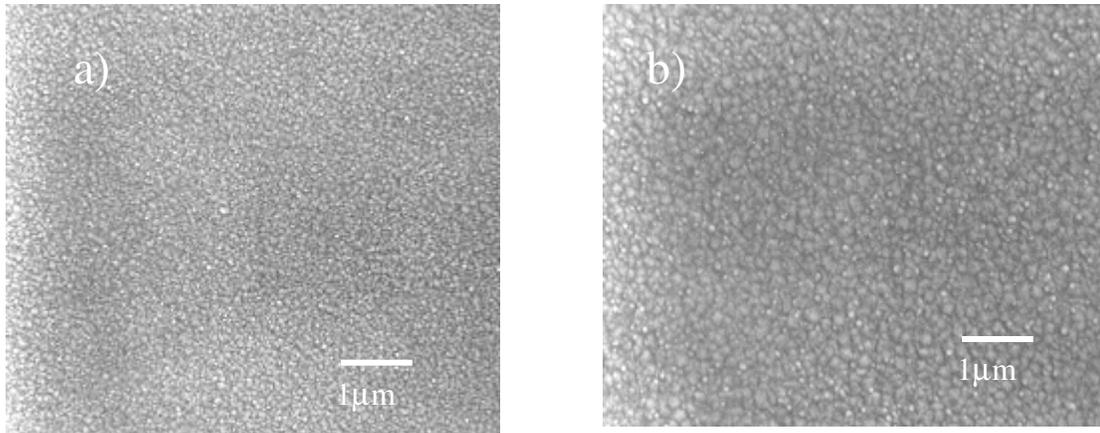
Pada Gambar 2 nampak perbandingan pola difraksi sinar X pada film tipis GaN yang menggunakan lapisan penyangga (Gambar 2 (b)) dan film tipis GaN yang tidak menggunakan lapisan penyangga (Gambar 2 (a)), pada gambar tersebut nampak dengan jelas pengaruh pemberian lapisan penyangga pada struktur kristal film tipis GaN, seperti pada Gambar 2(a) nampak puncak bidang kristal (0002) intensitasnya masih rendah dibandingkan dengan bidang kristal (10 $\bar{1}$ 0) hal ini menunjukkan bahwa orientasi penumbuhan kristal adalah pada sumbu a, sedangkan pada film tipis GaN yang menggunakan lapisan penyangga 25 nm (Gambar 2(b)) nampak intensitas puncak bidang kristal (0002) meningkat secara drastis diikuti dengan munculnya bidang kristal (0004) hal ini menunjukkan film tipis tersebut memiliki struktur kristal tunggal yang berorientasi sejajar dengan sumbu c.

Kehadiran lapisan penyangga akan menurunkan energi antar-muka (*interface*) antara lapisan epitaksi GaN dengan lapisan penyangga dibandingkan energi antar-muka antara lapisan epitaksi GaN dengan substrat, sehingga kerapatan nukleasi yang terbentuk akan meningkat, akibatnya pembentukan pulau-pulau heksagonal di atas lapisan penyangga akan cepat terbentuk. Apabila permukaan lapisan penyangganya merata dan datar (untuk tebal lapisan penyangga 18 nm dan 25 nm), maka pembentukan pulau-pulau heksagonal akan cepat melebar ke arah samping (*lateral*). Hal ini didukung oleh nilai FWHM yang kecil untuk bidang kristal (0002) pada film tipis GaN yang ditumbuhkan di atas lapisan penyangga 18 nm dan 25 nm yaitu 0,95<sup>o</sup> dan 0,4<sup>o</sup> berturut-turut. Sedangkan pembentukan nukleasi pada lapisan penyangga dengan tebal 37 nm dan 56 nm cenderung tidak merata karena permukaan lapisan penyangganya kasar akibatnya terbentuk pulau-pulau heksagonal dengan ukuran yang tidak homogen, hal tersebut menyebabkan nilai FWHM untuk bidang kristal (0002) akan melebar yaitu 1,1<sup>o</sup> dan 1,6<sup>o</sup> berturut-turut seperti nampak pada Gambar 3.



Gambar 3. FWHM bidang kristal (0002) film tipis GaN sebagai fungsi tebal lapisan penyangga.

Dari hasil karakterisasi SEM (Gambar 4.(a)) nampak bahwa pada lapisan penyangga dengan ketebalan 25 nm tumbuh kristal GaN secara merata. Hal tersebut diduga yang menyebabkan FWHM bidang kristal (0002) menyempit sekitar  $0.4^\circ$ . Sedangkan untuk film tipis GaN dengan tebal lapisan penyangga 56 nm tampak pada gambar SEM (gambar 4.(b)) butiran-butiran kristal yang tumbuh di atas lapisan penyangga tersebut tidak merata atau kasar (*rough*), hal inilah yang diduga penyebab munculnya puncak-puncak bidang kristal (10 $\bar{1}$ 0) dan (10 $\bar{1}$ 1) dan melebarnya FWHM puncak bidang kristal (0002) menjadi  $1,6^\circ$ .



Gambar 4 Hasil karakterisasi SEM pada film tipis GaN di atas lapisan penyangga  
a) 25 nm , b) 56 nm.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa kehadiran lapisan penyangga akan menurunkan energi antar-muka (*interface*) antara lapisan epitaksi GaN dengan lapisan penyangga dibandingkan energi antar-muka antara lapisan epitaksi GaN dengan substrat, sehingga kerapatan nukleasi yang terbentuk akan meningkat, akibatnya pembentukan pulau-pulau heksagonal di atas lapisan penyangga akan cepat terbentuk. Ketebalan lapisan penyangga yang paling optimum yang telah diperoleh adalah 25 nm.

#### Referensi

- [1] S.N. Mohamad, A.A. Salvador, H. Morkoc, Proc. IEEE 83 (1995) 10.
- [2] D.B. Eason, Z. Yu, W.C. Hughes, C.Boney, J.W. Cook Jr., J.F. Schetzina, D.R. Black, G. Cantwell, W.C. Harsch, J. Vac. Sci. Technol. B13 (1995) 4.
- [3] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, S. Nagahama, Appl. Phys. Lett. 67 (13) (1995) 1868.
- [4] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, Appl. Phys. Lett. 64 (1994) 1687.
- [5] J.W. Yang, Q. Chen, C.J. Sun, B. Lim, M.Z. Anwar, M. Asif Khan, H. Temkin, Appl. Phys. Lett. 69(3) (1996) 369.
- [6] S. Nakamura et al, Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) L74.

- [7] X.H. Wu et.al, Appl. Phys. Lett. 68 (1996)1371.
- [8] D.B. Oberman, H. Lee, W.K.Gotz, J.S. Harris Jr., J. Crystal Growth 150 (1995) 912.
- [9] T. Detchprohm, H. Amano, K.Hiramatsu, I.Akasaki, J. Crystal Growth 128 (1993) 384.
- [10] D. Chrisey, G. Hubler (Eds.), Pulsed Laser Deposition Of Thin Films, Wiley-Interscience, New York, 1994.
- [11] O'Donnell, K.P. (1998), Beyond Silicon: The Rise of Compound Semiconductors, dalam *Group III Nitride Semiconductor Compounds Physics and Applications*, Bab 1, Bernard Gil, Editor, Clarendon Press, Oxford, 34.