

# FOTOKONDUKTOR Al-GaN-Al UNTUK APLIKASI DETEKTOR ULTRAVIOLET

Dadi Rusdiana

Jurusan fisika FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia ,Bandung

e-mail : dadi\_rusdiana@upi.edu

## ABSTRAK

Detektor Ultraviolet telah dibuat dari film tipis GaN dengan struktur fotokonduktor Al-GaN-Al. Dari hasil karakterisasi I-V pada sampel fotokonduktor untuk kondisi penyinaran diperoleh peningkatan konsentrasi elektron  $4,6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  dengan fotokonduktivitas  $59,9 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , sedangkan pada kondisi gelap konduktivitasnya sekitar  $45,7 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , berarti terdapat peningkatan konduktivitas pada sampel fotokonduktor sekitar  $14,2 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  akibat penyinaran dengan energi foton 3,4 eV. Dari kurva I-V tersebut juga diperoleh resistansi kontak sekitar  $0,26 \text{ } \Omega.\text{cm}^2$  dengan tinggi penghalang antara aluminium dengan GaN adalah sekitar 0,44 eV pada kondisi gelap, sedangkan pada kondisi penyinaran tinggi penghalang mengalami penurunan yaitu 0,43 eV. Resistansi kontak yang rendah tersebut menunjukkan bahwa kontak aluminium memiliki karakteristik kontak ohmik pada semikonduktor GaN tipe-n. Hasil pengukuran responsivitas pada sampel fotokonduktor, menunjukkan bahwa sampel cukup peka terhadap sinar dengan panjang gelombang antara 345 nm sampai 365 nm yang masih dalam rentang panjang gelombang ultraviolet. Sedangkan untuk panjang gelombang lebih besar dari 365 nm, respon arus pada sampel mengalami penurunan secara tajam. Hal ini menggambarkan bahwa sampel memiliki panjang gelombang pancung (*cutoff wavelength*)  $\lambda_c$  sekitar 365 nm.

**Kata Kunci:** Fotokonduktor, GaN, Detektor Ultraviolet

## ABSTRACT

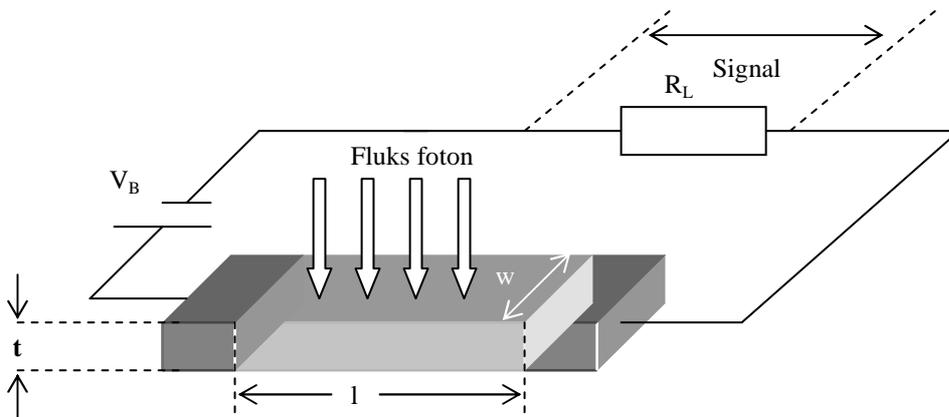
The ultraviolet photoconductors (Al-GaN-Al) have been fabricated using GaN thin film. I-V characterization on photoconductor samples under irradiating condition showed that electron concentration and photoconductivity were around  $4.65 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  and  $59.9 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , respectively. While at dark condition, the conductivity was around  $45.7 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ . There was an increase of conductivity around  $14.2 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  resulting from irradiation with photon energy of 3.4 eV. It was also observed that the contact resistance was around  $0.26 \text{ } \Omega.\text{cm}^2$  with barrier height of 0.44 eV at a dark condition, while at irradiation condition, the barrier height was slightly reduced down to 0.43 eV. The value of contact resistance indicates that Al contact show ohmic contact of GaN semiconductors. The spectral responses of photoconductor sample have the current responsivity which increase at  $\lambda > 310 \text{ nm}$  and remain nearly constant from 347 nm to 365 nm. While for wavelength higher than 365 nm, the current responsivity of photoconductor samples were reduced significantly. This depicts that samples have cutoff wavelength ( $\lambda_c$ ) of around 365 nm.

**Keywords :** Ultraviolet Photoconductor, GaN

## 1. Pendahuluan

Perkembangan penelitian dari bahan semikonduktor paduan III-V seperti GaN yang memiliki celah pita energi yang lebar (3,4 eV) sampai saat ini begitu pesat, hal ini dilatarbelakangi oleh adanya kebutuhan bahan baku untuk pembuatan devais optoelektronik yang beroperasi pada daerah panjang gelombang biru dan ultraviolet, dan untuk devais elektronik yang mampu beroperasi pada level daya tinggi dan temperatur tinggi. Aplikasi devais optoelektronik yang sudah dikenal oleh kalangan komersial dan industri adalah *light emitting diode* (LED) untuk display, semikonduktor laser yang digunakan sebagai penyimpan data optik (*optical storage*), printer warna beresolusi tinggi, reprograpik dan komunikasi serta fotodetektor yang dapat diaplikasikan untuk deteksi terhadap ancaman peluru kendali, deteksi kebakaran, monitoring alat pemanas, deteksi radiasi ultraviolet dan monitoring lapisan ozon.

Struktur detektor ultraviolet yang dibuat dalam artikel ini memiliki struktur fotokonduktor (Al-GaN-Al) yang memiliki keunggulan *internal gain* dibandingkan struktur lainnya seperti Schottky fotodioda. Fotokonduktor pada dasarnya adalah sebuah resistor yang sensitif terhadap cahaya. Berkas cahaya dengan energi foton  $h\nu$  lebih besar dari energi gap akan diserap oleh fotokonduktor yang akan membangkitkan pasangan elektron-hole sehingga akan merubah konduktivitas semikonduktor. Pada gambar 1 diperlihatkan mekanisme pengukuran dari fotokonduktor. Untuk sampel yang memiliki resistansi besar  $R_{\text{sampel}} \gg R_L$ , maka signal yang terukur adalah sebagai perubahan arus dari rangkaian akibat adanya peningkatan konduktivitas sampel.



Gambar 1 Mekanisme pengukuran fotokonduktor

Arus foto yang terukur dapat dinyatakan dengan Persamaan (Razeghi dan Rogalski, 1996) :

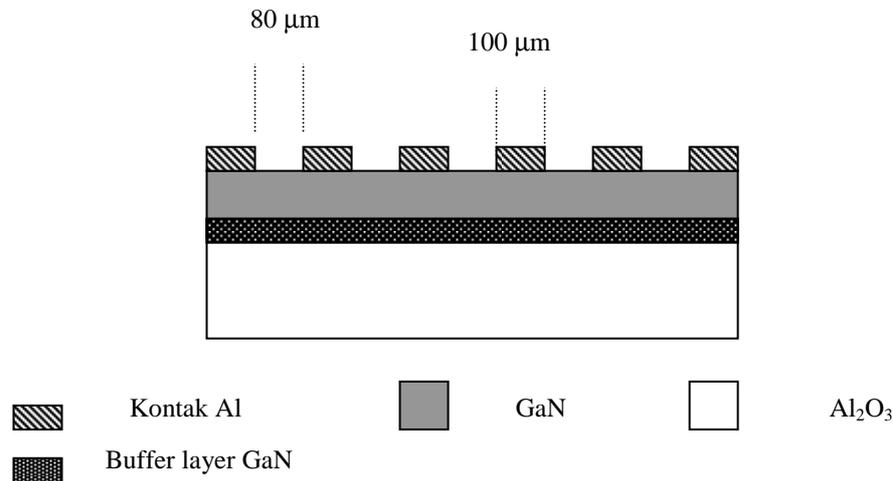
$$I_{\text{foto}} = \frac{wtqV_B\mu_e\Delta n}{l} \quad (1)$$

dimana  $\mu_e$  adalah mobilitas elektron dan  $\Delta n = n - n_o$  adalah penambahan konsentrasi pembawa muatan akibat fotogenerasi elektron.

## 2. Eksperimen

Film tipis GaN yang diaplikasikan pada fotodetektor ultraviolet dibuat dengan menggunakan metoda *Pulsed Laser Deposition* (PLD). Sampel yang diaplikasikan pada

fotodetektor ultraviolet tersebut memiliki ketebalan 171 nm yang ditumbuhkan pada temperatur 680 °C. Sampel tersebut merupakan hasil optimasi dari parameter deposisi film tipis GaN dengan menggunakan metoda PLD. Sampel tersebut memiliki sifat listrik dan optik yang paling baik dibandingkan sampel-sampel lainnya yaitu memiliki konsentrasi elektron  $1,5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  dengan mobilitas  $19,05 \text{ cm}^2/\text{V.s}$  serta memiliki celah pita energi 3.4 eV. Struktur fotokonduktor yang dibuat yaitu berstruktur Al-GaN-Al seperti nampak pada gambar 2.



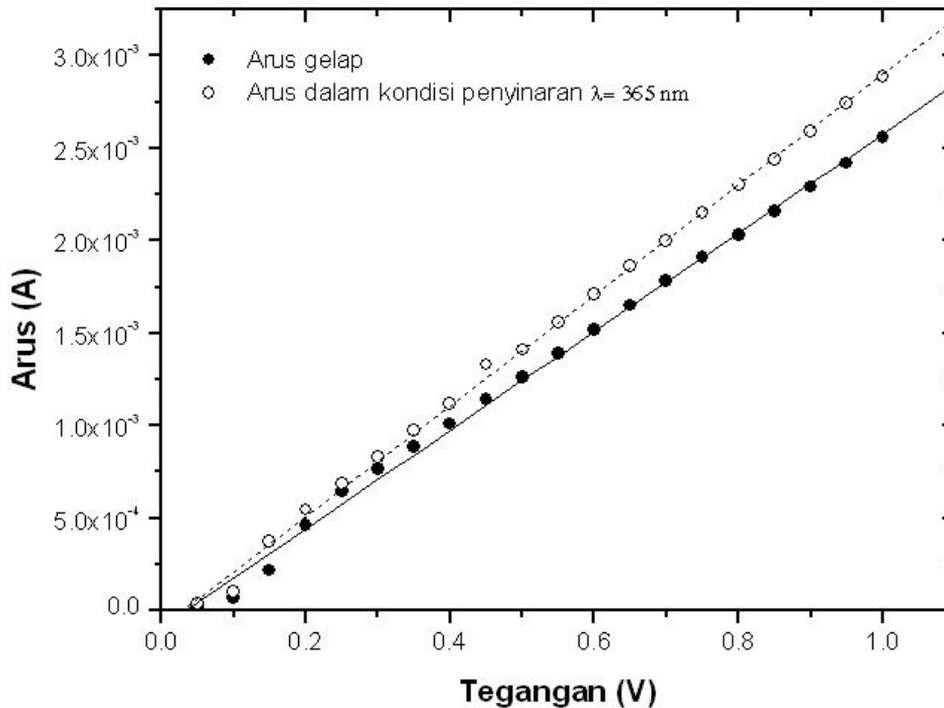
Gambar 2. Struktur devais fotokonduktor GaN

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil karakterisasi I-V seperti nampak pada gambar 3, ternyata kuat arus dan tegangan memiliki hubungan yang linier. Hal ini menunjukkan bahwa kontak Al memiliki karakteristik ohmik terhadap semikonduktor GaN. Pada gambar 3 nampak bahwa kuat arus mengalami peningkatan pada kondisi pengukuran dengan penyinaran ( $\lambda=365 \text{ nm}$ ) dibandingkan dengan kondisi tanpa penyinaran. Peningkatan arus listrik pada kondisi penyinaran tersebut diakibatkan adanya peningkatan konsentrasi pembawa muatan ( $\Delta n$ ) pada pita konduksi akibat terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Dengan menggunakan persamaan 1 dapat diperoleh  $\Delta n = 4,65 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  sehingga konsentrasi muatan pembawa total yang terjadi akibat penyinaran adalah  $1,96 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  dengan fotokonduktivitas  $59,9 \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

Tabel 1 Parameter-parameter fisika hasil ekstraksi dari karakteristik I-V pada fotokonduktor Al-GaN-Al.

Kondisi Pengukuran	$I_s$ (A)	$\phi_b$ (eV)	$n$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$\sigma$ ( $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ )
Tanpa penyinaran	$9,83 \times 10^{-6}$	0,44	$1,5 \times 10^{19}$	45,7
Dengan penyinaran ( $\lambda=365 \text{ nm}$ )	$1,33 \times 10^{-5}$	0,43	$1,96 \times 10^{19}$	59,9



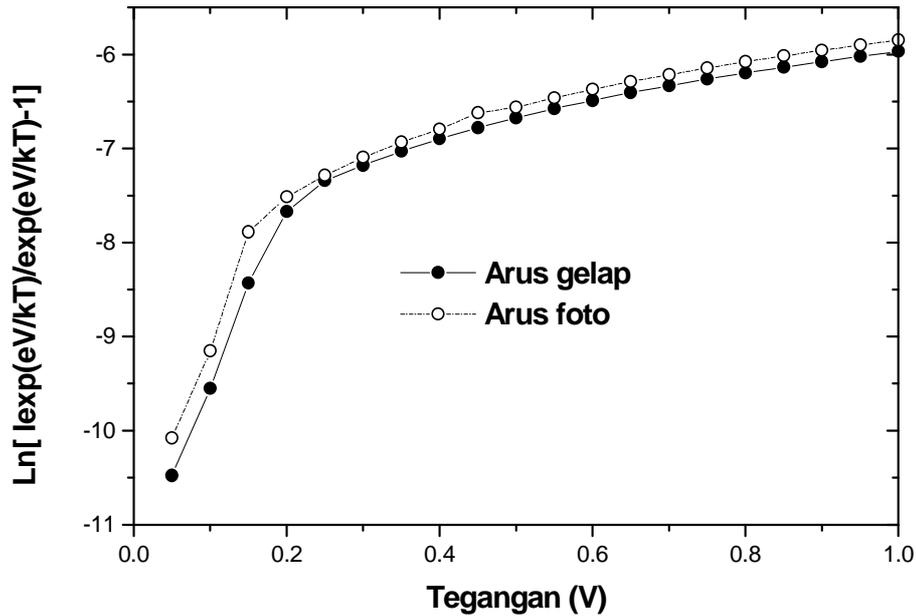
Gambar 3 Karakteristik I-V fotokondutor ultraviolet struktur Al-GaN-Al pada  $\lambda=365$  nm dan  $T= 300$  K

Tinggi potensial penghalang ( $\phi_b$ ) dari sambungan kontak aluminum dengan semikonduktor GaN tipe-n dapat ditentukan dengan menggunakan karakterisasi I-V (gambar 3) dan persamaan 2 (Razeghi dan Rogalski, 1996):

$$\frac{I \exp(eV / kT)}{\exp(eV / kT) - 1} = I_s \exp(eV / \beta kT) \quad (2)$$

$$I_s = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{kT}\right)$$

Dengan memplot grafik  $\ln[I \cdot \exp(eV/kT) / (\exp(eV/kT)-1)]$  terhadap V, maka diperoleh grafik seperti pada gambar 4 untuk arus gelap dan arus foto pada panjang gelombang  $\lambda= 365$  nm.



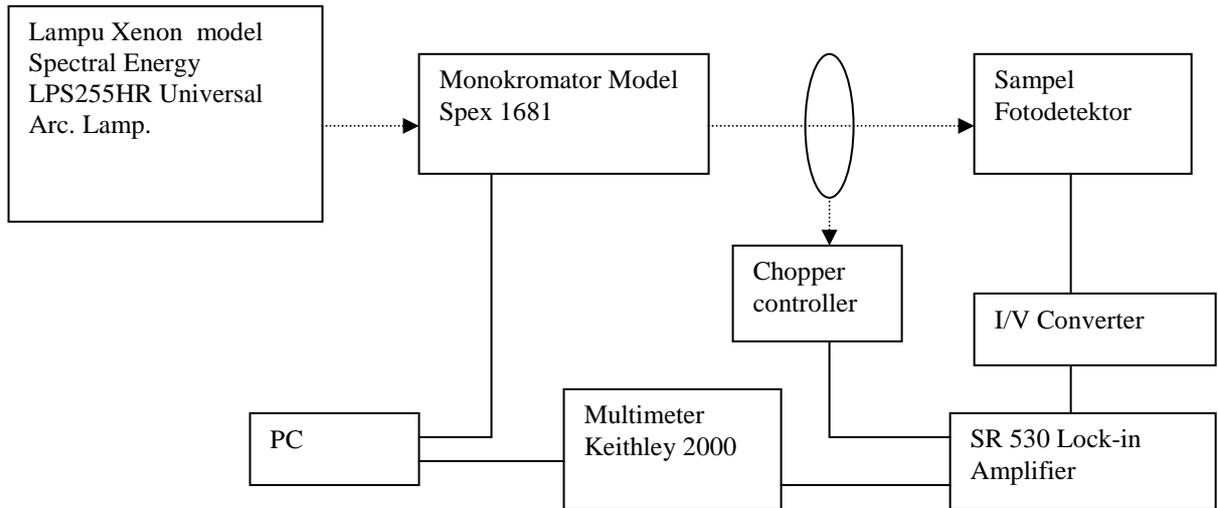
Gambar 4 Plot logaritmik dari  $I \exp(eV/kT) / [\exp(eV/kT)-1]$  terhadap  $V$  untuk arus gelap dan arus foto

Dengan melakukan fitting pada daerah linier (Maffeis *et al.*,2000) dari grafik 4, dapat diperoleh arus saturasi ( $I_s$ ) untuk arus gelap yaitu sebesar  $9,83 \times 10^{-6}$  A sedangkan arus saturasi untuk arus foto yaitu sebesar  $1,33 \times 10^{-5}$  A. Dengan menggunakan nilai konstanta Richardson efektif ( $A^*$ ) untuk GaN yaitu  $26 \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$  (Hacke *et al.*,1993), maka dari Persamaan 2 dengan luas kontak detektor  $A= 10^{-4} \text{ cm}^2$  diperoleh tinggi potensial penghalang ( $\phi_b$ ) sekitar 0,44 eV untuk kondisi gelap dan 0,43 eV untuk kondisi penyinaran. Besar resistansi kontak ( $R_oA$ ) aluminum dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3 (Razeghi dan Rogalski, 1996) yaitu sebesar ( $R_oA$ )  $0,26 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}^2$  yang berbeda 2 orde lebih besar dibandingkan dengan yang diperoleh Foresi dan Moustakas (1993) yaitu  $0,13 \times 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}^2$

$$(R_oA) = \left( \frac{dI_{dark}}{dV} \right)_{V=0}^{-1} = \frac{k}{qA^*T} \exp\left( \frac{\phi_b}{kT} \right) \quad (3)$$

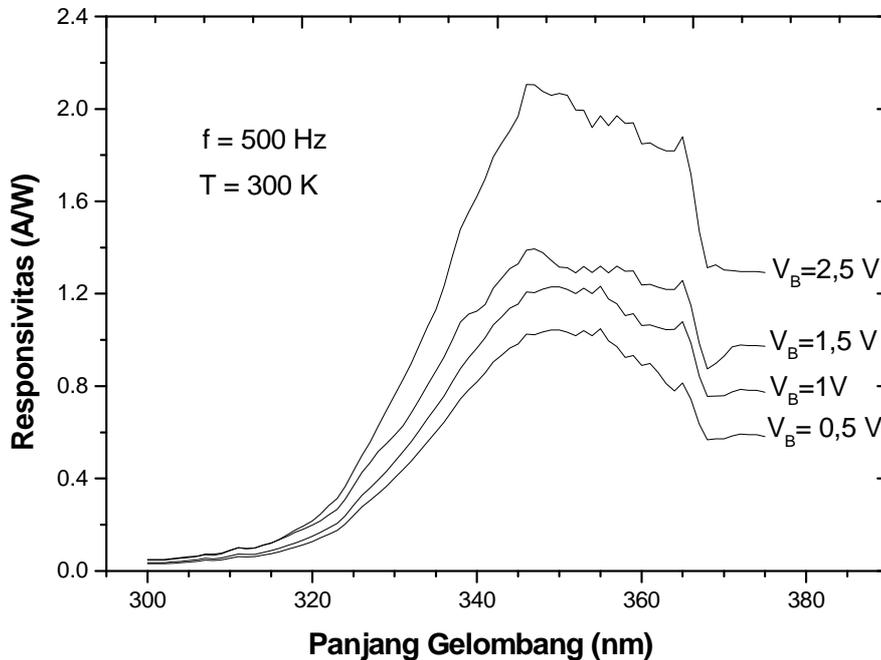
Dari hasil tersebut di atas nampak bahwa nilai tinggi potensial penghalang untuk persambungan kontak aluminum dan GaN tipe-n mengalami pengurangan sebesar  $\Delta\phi_b \sim 10 \text{ meV}$  apabila sampel diberi penyinaran. Nilai resistansi kontak ( $R_oA$ ) yang rendah yaitu dalam rentang  $10^{-7} - 10 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}^2$  merupakan karakteristik dari kontak ohmik (Chang *et al.*, 1971).

Tingkat responsivitas fotokonduktor pada panjang gelombang ultraviolet dapat ditentukan dengan pengukuran responsivitas yang merupakan salah satu parameter yang menunjukkan performan dari fotodetektor, adapun set-up pengukurannya seperti disajikan pada gambar 5.



Gambar 5 Set-up pengukuran responsivitas detektor ultraviolet

Lampu Xenon 150 W digunakan sebagai sumber eksitasi optik dari sampel fotodetektor setelah melewati monokromator model Spex 1681 dan *chopper controller*. Sampel fotodetektor dihubungkan pada I/V Converter dan Lock-in Amplifier untuk memperkuat respon arus yang dihasilkan.



Gambar 6. Spektrum responsivitas fotokondutor struktur Al-GaN-Al

Hasil pengukuran responsivitas pada sampel fotokonduktor dengan variasi tegangan panjar menunjukkan bahwa respon arus mengalami peningkatan pada panjang gelombang  $\lambda > 310$  nm, kemudian respon arus cenderung konstan pada panjang gelombang antara 345 nm sampai 365 nm. Pada panjang gelombang  $\lambda > 365$  nm respon arus ternyata mengalami penurunan secara drastis. Hal tersebut berkaitan dengan celah pita energi GaN pada panjang gelombang 365 nm (3,4 eV) dimana dalam spektrum responsivitas tersebut panjang gelombang 365 nm merupakan panjang gelombang pancung (*cutoff wavelength*) seperti tampak pada gambar 6. Respon arus pada daerah energi foton di bawah celah pita energi GaN (gambar 6) dapat mengindikasikan adanya kerapatan cacat kristal dalam film tipis GaN (Parish, 2001). Cacat kristal dan tingkat energi impuritas di dalam daerah celah energi (*forbidden energy gap*) dapat terjadi pada material yang memiliki celah energi yang lebar seperti material GaN (3,4 eV), hal ini dapat menyebabkan terjadinya perangkap elektron di daerah celah pita energi (Razeghi dan Rogalski, 1996). Pada gambar 6 nampak penurunan respon arus pada daerah panjang gelombang  $\lambda > 365$  nm tidak tajam hal ini menggambarkan masih tingginya kerapatan cacat kristal sehingga akibatnya energi foton di bawah celah energi masih dapat berkontribusi terhadap respon arus (Parish, 2001).

Pemberian tegangan panjar pada sampel fotodetektor dapat meningkatkan respon arus secara linier seperti tampak pada gambar 6. Hal tersebut berkaitan dengan adanya *internal gain* dari devais fotodetektor yang merupakan mekanisme meningkatnya injeksi elektron dari semikonduktor menuju kontak karena rendahnya potensial penghalang antara semikonduktor dengan kontak (Jiang *et al.*, 2001).

#### 4. Kesimpulan

Telah berhasil dibuat fotokonduktor berstruktur Al-GaN-Al yang memiliki fotokonduktivitas  $59,9 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , sedangkan pada kondisi gelap konduktivitasnya sekitar  $45,7 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , berarti terdapat peningkatan konduktivitas pada sampel fotokonduktor sekitar  $14,2 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  akibat penyinaran dengan energi foton 3,4 eV. Potensial penghalang yang terbentuk antara kontak Al dengan GaN yaitu 0,44 eV pada kondisi gelap, sedangkan pada kondisi penyinaran tinggi penghalang mengalami penurunan yaitu 0,43 eV. Hasil pengukuran responsivitas pada sampel fotokonduktor, menunjukkan bahwa sampel cukup peka terhadap sinar dengan panjang gelombang antara 345 nm sampai 365 nm yang masih dalam rentang panjang gelombang ultraviolet. Sedangkan untuk panjang gelombang lebih besar dari 365 nm, respon arus pada sampel mengalami penurunan secara tajam. Hal ini menggambarkan bahwa sampel memiliki panjang gelombang pancung (*cutoff wavelength*)  $\lambda_c = 365$  nm.

#### Referensi

- Chang, C.Y., Y.K. Fang, and S.M.Sze, 1971, Specific contact resistance of metal semiconductor barriers, *Solid State Electron.*, **14**, 541.
- Foresi, J.S., and T.D. Moustakas, 1993, Metal contacts to gallium nitride, *Appl. Phys. Lett.*, **62** (22), 2859-2861.

- Hacke, P., T. Detchprom, K. Hiramatsu, and N. Sakawi, 1993, Schottky barrier on n-type GaN grown by hydride vapor phase epitaxy, *Appl. Phys. Lett.*, **63**, 2676.
- Jiang, H., N. Nakata, G.Y. Zhao, H. Ishikawa, C.L. Shao, T. Egawa, T. Jimbo, and M.U. Meno, 2001, Back illuminated GaN MSM UV photodetectors with high internal gain, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L505-L507.
- Maffeis, T.G.G., M.C. Simmonds, S.A. Clark, F. Peiro, P. Haines, and P.J. Parbrook, 2000, Near ideal, high barrier, Au-n GaN Schottky contacts, *J. Phys.D: Appl. Phys.*, **33**, L115-L118.
- Parish, G., 2001, *Growth and Characterization of Aluminum Gallium Nitride / Gallium Nitride Ultraviolet Detectors*, Doctoral Dissertation, University of California, Santa Barbara, 9-14.
- Razeghi, M., and A. Rogalski, 1996, Semiconductors ultraviolet detectors, *J. Appl. Phys.*, **79**, 7434 – 7471.