KARAKTERISASI GaAs DENGAN PHOTOLUMINESCENCE LASER ARGON

Surantoro
Pendidikan Fisika PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret Surakarta.
Jl. Ir. Sutami 36 A Kampus Kentingan Surakarta.

ABSTRAK

Penelitian tentang karaterisasi GaAs dengan photoluminescence Laser Argon ini bertujuan untuk mengetahui: (1) Besarnya panjang gelombang cahaya photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs yang disinari dengan Laser Argon. (2) Besarnya energi gap bahan GaAs pada suhu kamar. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, sebagai sampel penelitian adalah bahan semikonduktor GaAs; sedangkan analisis data dengan metode grafik dan persamaan differensial parsial. Berdasarkan analisis data dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa: (1) Besarnya panjang gelombang cahaya photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs yang disinari dengan Laser Argon adalah 873,211 nm dan 874,601 nm. (2) Besarnya energi gap bahan GaAs pada suhu kamar adalah E_g = 1,42 eV.

Kata kunci: karakterisasi, GaAs, photoluminescence, laser Argon.

I. PENDAHULUAN.

Bahan berdasarkan daya hantar listriknya dibagi menjadi 3 golongan besar, yaitu : bahan isolator, bahan semikonduktor, dan bahan konduktor. Dalam makalah ini tidak semua bahan penghantar listrik tersebut dibahas, tetapi hanya akan dibahas bahan semikonduktor, Sumbangan bahan semikonduktor dalam kehidupan modern berlangsung terus meningkat. Komputer, kalkulator, jam digital dst., merupakan contoh yang paling umum, sel surya dan perangkat optoelektronika untuk komunikasi juga lazim. Semua produk teknologi ini membutuhkan bahan-bahan semikonduktor yang secara konsisten berkualitas tinggi. Dari beberapa macam bahan semikonduktor akan dipilih bahan semikonduktor Galaium Arsenide. Untuk mengetahui sifat yang khas dari bahan tersebut, diadakan karaterisasi.

Bahan semikonduktor tersebut akan dikarakterisasi secara optik. Adapun teknik-teknik karakterisasi secara optik ada 4, yaitu: cahaya emisi, cahaya refleksi, cahaya absorpsi, dan cahaya transmisi. Dari 4 cara karakterisasi secara optik tersebut dipilih salah satu, yaitu karakterisasi secara optik dengan cahaya emisi.

Karakteristik bahan semikonduktor dengan cahaya yang diemisikan ada 3, yaitu: Photoluminescence, Raman Spectroscopy, dan Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy. Dari 3 karakterisasi secara optik dengan cahaya emisi ini hanya akan dipilih salah satu, yaitu Photoluminescence (Photoluminescensi). Photoluminescensi merupakan teknik karaktrisasi tanpa kontak, tidak merusak untuk pengujian bahan-bahan semikonduktor. Photoluminescence adalah luminescence dari bahan semikonduktor yang ditimbulkan oleh photon, biasanya photon yang digunakan adalah Laser. Energi luminescence dari bahan semikonduktor ini lebih rendah daripada energi Laser, atau panjang gelombang luminescence dari bahan semikonduktor lebih besar dari pada panjang gelombang Laser. Laser yang digunakan dalam karakterisasi ini adalah Laser Argon.

Berdasarkan dari uraian tersebut di atas dapat dikemukakan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besarnya panjang gelombang cahaya photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan Gallium Arsenide yang disinari dengan Laser Argon?.
2. Berapa besarnya energi gap bahan Gallium Arsenide pada suhu kamar?.

Dari uraian masalah tersebut di atas maka penelitian ini bertujuan:

1. Menentukan besarnya panjang gelombang cahaya photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan Gallium Arsenide yang disinari dengan Laser Argon.
2. Menentukan besarmya energi gap bahan Gallium Arsenide pada suhu kamar.

II. TINJAUAN PUSTAKA.

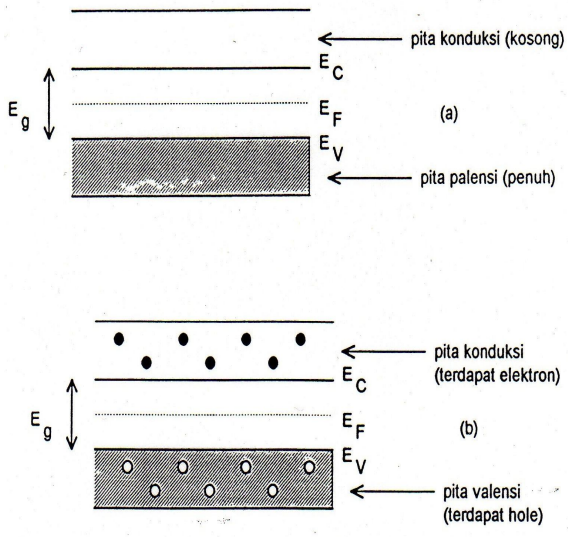
A. Bahan Semikonduktor.

Bahan berdasarkan daya hantar listriknya digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu: bahan isolator, bahan semikonduktor dan bahan konduktor. Pada suhu kamar hanya bahan konduktor yang dapat berfungsi dengan baik sebagai penghantar listrik. Pada umumnya bahan semikonduktor bersifat isolator pada suhu rendah (mendekati 0 K) dan pada suhu kamar bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor dapat berubah menjadi konduktor, jika ada eksitasi medan luar atau energi termal sehingga ada elektron bebas pada pita konduksi.

1. Pita Energi.

Suatu atom pada umumnya terdiri atas inti atom yang bermuatan positif dan dikelilingi oleh elektron-elektron yang bermuatan negatif. Elektron dalam atom akan stabil pada orbit tertentu. Dalam atom elektron bebas hanya dapat memiliki tingkat energi tertentu pada suhu rendah disebut Energi Fermi, yang harganya konstan terhadap perubahan suhu.

Gambar 1 di bawah ini adalah diagram tingkat energi dari bahan senikonduktor pada suhu 0 K dan suhu di atas 0 K. Jumlah elektron yang menduduki pita konduksi [seperti terlihat pada Gambar 1(a)], akan betambah seiring dengan naiknya suhu atau naiknya energi yang mengeksitasi. Elektron yang meninggalkan pita valensi akan menyebabkan timbulnya lubang (*hole*), yang nantinya bertindak sebagai pembawa muatan positif.



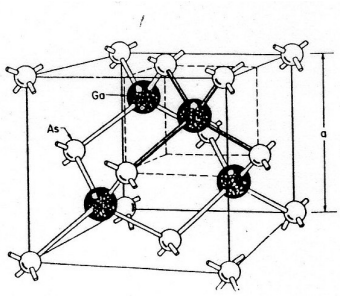
Gambar 1. Diagram Tingkat Energi Bahan Semikonduktor
(a) Pada Suhu 0 K dan (b) pada Suhu di Atas 0 K.

Bahan semikonduktor berdasarkan bandgapnya ada dua yaitu bahan semikonduktor yang bandgapnya langsung dan bahan semikonduktor yang bandgapnya tidak langsung. Adapun bahan semikonduktor yang bandgapnya langsung, misalnya GaAs; sedangkan bahan semikonduktor yang bandgapnya tidak langsung, misalnya Si.

B. Bahan semikonduktor Gallium Arsenide.

Bahan semikonduktor Gallium dan Arsenide merupakan unsur golongan III dan V dalam susunan berkala. Dari struktur atomnya GaAs mempunyai struktur Kristal. Struktur tersebut mempunyai ikatan kovalen, yaitu ikatan yang terjadi karena pembentukan pasangan elektron dengan spin anti paralel.

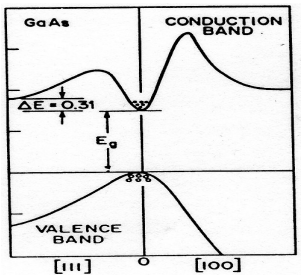
Kristal GaAs mempunyai struktur tetrahedral, di mana satu atom Ga dikelilingi oleh empat atom As terdekat, demikian juga satu atom As dikelilingi oleh empat Ga terdekat (S.M.Sze, 1985), seperti terlihat pada Gambar 2, sebagai berikut:



Gambar 2. Struktur Kristal GaAs berbentuk tetrahedral (satu atom Ga dikelilingi oleh 4 atom As dan satu As dikelilingi oleh 4 atom Ga) (S.M.Sze, 1985).

Kristal GaAs mempunyai keteraturan berjangkaupan panjang. Pada Kristal GaAs, atom Ga di pusat dihubungkan secara tetrahedral dengan empat atom As terdekat, yang membentuk delapan sp^3 hybridized orbital dan terpisah menjadi empat orbital bonding dan empat orbital antibonding. Keadaan bonding membentuk pita valensi, sedangkan keadaan antibonding membentuk pita konduksi.

Pada GaAs kristal lebar energi gapnya pada suhu kamar 300 K sekitar 1,42 eV [(K. Takahashi & M. Konagi, 1986), S.M.Sze, (1981) dan S.M.Sze, (1985)]. Hal ini disebabkan oleh energi ikat GaAs adalah 2,84 eV. GaAs merupakan bahan semikonduktor yang bandgapnya langsung (*direct bandgap*) [S.M.Sze, (1981) dan S.M.Sze, (1985)], untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Pita Energi GaAs (S.M.Sze ,1985).

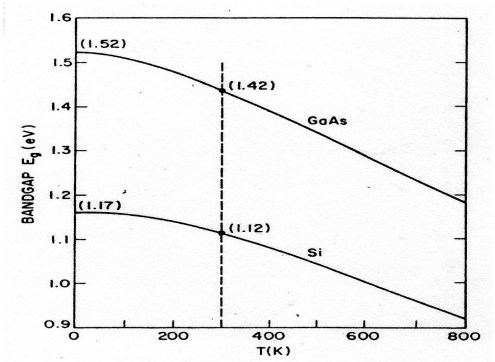
Pada GaAs terjadi bandgap langsung sebab GaAs tidak mempunyai momentum tambahan, sehingga antara minimum pita konduksi dengan maksimum pita valensi terletak segaris lurus.

Menurut S.M.Sze (1985): variasi dari bandgap dengan suhu dapat diekspresikan sebagai:

Untuk GaAs : $$Eg(T) = 1{,}52 - \frac{(5{,}4 \times 10^{-4})\, T^2}{(T + 204)} \quad (1)$$

Untuk Si : $$E_g(T) = 1{,}17 - \frac{(4{,}73 \times 10^{-4})T^2}{(T + 204)} \quad (2)$$

Sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara bandgap (E_g) bahan semikonduktor GaAs dan Si fungsi suhu (T) sebagai berikut:

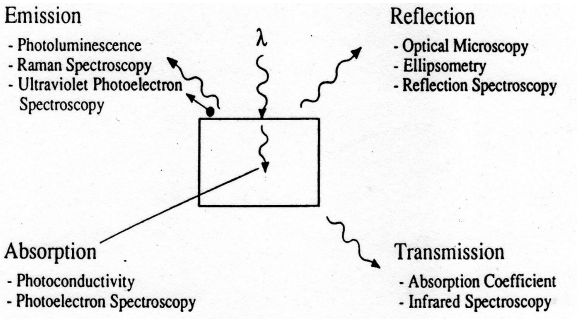


Gambar 4. Band gap GaAs dan Si Fungsi suhu.

C. Photoluminescence Bahan Semikonduktor.

Dalam menggunakan bahan semikonduktor, dipilih bahan yang kualitasnya baik. Baik atau tidaknya kualitas bahan semikonduktor tersebut dapat diketahui dari sifat-sifat yang khas bahan semikonduktor tersebut. Adapun untuk mengetahui sifat-sifat yang khas dari bahan semikonduktor, maka bahan harus dikarakterisasi. Teknik-teknik karakterisasi optik yang paling sering digunakan dalam industri semikonduktor (Dieter K. Schroder, 1990). Dewasa ini pengukur optik semakin popular karena sifatnya yang non kontak, sehingga merupakan keuntungan tersendiri jika formasi kontak agak mengganggu. Pengukuran tersebut digunakan untuk berbagai kelompok karakterisasi dan bahkan memiliki kepekaan yang tinggi.

Menurut Dieter K. Schroder (1990).: Teknik-teknik karakterisasi optik yang penting dirangkum dalam Gambar 5. Cahaya spontan dipantulkan, diserap, dipancarkan dan diteruskan.



Gambar 5. Teknik-teknik Karakterisasi Optik (Dieter K. Schroder, 1990).

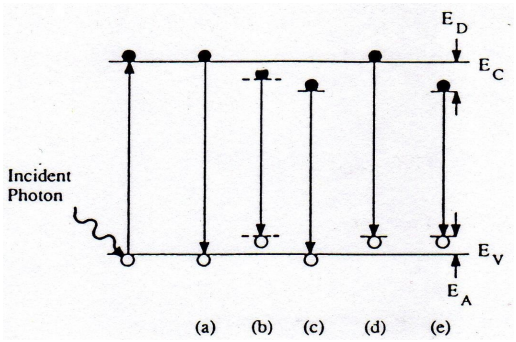
1. Cahaya yang dipantulkan diukur dengan mikroskop optik, ellipsometri, spektroskopi pantulan.
2. Cahaya yang diserap diukur dengan photokonduktivitas dan spektroskopi elektron.
3. Cahaya yang diteruskan diukur dengan koefisien serapan dan spektroskopi inframerah.
4. Cahaya yang dipancarkan diukur dengan photoluminescence, spektroskopi Raman dan spektroskopi photoelektron ultraviolet.

Dalam makalah ini tidak semua teknik karakterisasi optik dibahas, tetapi hanya akan dibahas teknik karakterisai optik dengan photoluminescence. Sebab teknik karakterisasi photoluminescence ini akan digunakan untuk mengkarakterisasi sampel bahan GaAs.

Photoluminescence merupakan teknik alternatif karakterisasi yang sifatnya tanpa kontak dan tidak merusak (non destruktif) untuk pengujian bahan-bahan semikonduktor (Spex Technical Notes, 1985). Photoluminescence adalah luminescence dari bahan semikonduktor yang ditimbulkan oleh photon, biasanya photon yang digunakan adalah Laser [(Dieter K. Schroder, 1990) dan (E.C. Lightowlers, 1991)] . Energi luminescence dari bahan semikonduktor ini lebih kecil dari pada energi Laser, atau panjang gelombang luminescence dari bahan semikonduktor lebih besar daripada panjang gelombang Laser. Laser yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laser Argon, yang mempunyai panjang gelombang 488 nm dan 514 nm.

Sampel disinari dengan Laser Argon yang energinya $h\upsilon > E_g$, sehingga menghasilkan pasangan elektron-lubang pada pita valensi yang kemudian elektron bergerak menuju ke pita konduksi sedangkan lubang tetap di pita valensi, dan kemudian elektron turun ke pita valensi dan akhirnya terjadi rekombinasi antara elektron dengan lubang. Photon dengan berbagai macam energi dipancarkan oleh elektron bila terjadi proses rekombinasi radiatif. Untuk proses rekombinasi non-radiatif photon tidak dipancarkan. Photoluminescence yang baik, output dari proses rekombinasi harus radiatif (Dieter K. Schroder, 1990).

Energi photon tergantung dari proses rekombinasi yang ditunjukkan dalam Gambar 6, di mana lima dari transisi, photoluminescence yang paling sering muncul diberikan oleh rekombinasi dari pita ke pita (Gambar 6) yang dominan pada suhu kamar.



Gambar 6. Pengamatan Radiasi Transisi dengan Photoluminescence (Dieter K. Schroder, 1990)

Ketika photon menghasilkan pasangan elektron, atraksi Coulomb dapat mendorong ke pembentukan suatu kondisi di mana elektron dan lubang tetap melekat menjadi satu pada kedudukan seperti Hidrogen. Kedudukan tersebut dinamai *free exciton* (FE). Energinya sedikit di bawah energi gap yang diperlukan untuk membentuk pasangan terpisah (Gambar 6b).

Exciton dapat bergerak melalui kristal, tetapi sebagian pasangan terikat, baik elektron maupun lubangnya bergerak bersama-sama dan tidak muncul hasil-hasil photokonduktivitas misalnya. *Free hole* dapat berekombinasi dengan donor netral (Gambar 6c) untuk membentuk ion exciton bermuatan positif atau *bound excitonic* (BE). Elektron terikat dengan

donornya melintasi dalam suatu orbit yang luas sekitar donor. Begitu pula elektron yang berekombinasi dengan aseptor netral membentuk *bound excitonic*.

Jika bahan benar-benar murni, formasi dan rekombinasi *free exciton* terjadi dengan pemancaran photon. Energi photon dalam semikonduktor bandgap langsung adalah

$$h\upsilon = E_g - E_x \qquad (3)$$

di mana E_x adalah energi exciton.

Dalam semikonduktor bandgap tak langsung kekekalan momentum memerlukan pancaran phonon sehingga energi photonnya adalah $h\upsilon = E_g - E_x - E_p$ (4)

di mana E_p adalah energi phonon.

Rekombinasi *bound exciton* mendominasi rekombinasi *free exciton* untuk bahan-bahan yang kurang murni. Elektron bebas dapat berekombinasi dengan lubang pada aseptor netral (Gambar 6d) dan *free hole* dapat berekombinasi dengan elektron, dengan donor netral (Gambar 6c).

Akhirnya, elektron pada donor netral dapat berekombinasi dengan lubang pada aseptor netral (DA) yang sangat terkenal, dipelihatkan dalam Gambar 6e. Garis emisi mengandung energi yang telah diubah oleh interaksi Coulomb antara donor dan aseptor.

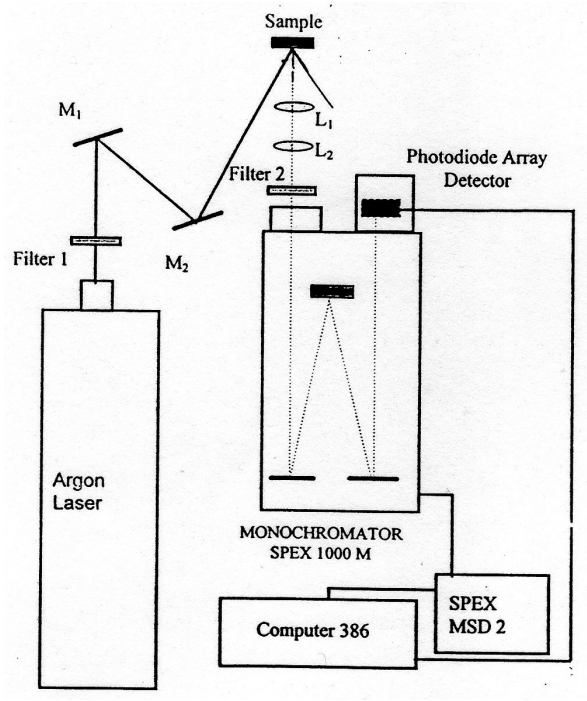
$$h\upsilon = E_g + (E_A + E_D) + \frac{q^2}{k_s \varepsilon_o r} \qquad (5)$$

di mana r adalah jarak antara donor dan aseptor.

Energi photon dalam persamaan (5) dapat lebih besar lagi daripada energi gap untuk (E_A+ E_D) kecil. Photon yang demikian umumnya diserap dalam sampel. *Full width at Half Maximum* (FWHM) untuk transisi *bound exciton* adalah $\leq kT/2$ dan sedikit menyerupai *broadened delta function*. Ini yang membedakannya dengan transisi donor *valence band* yang biasanya beberapa k T lebarnya. Energi kedua transisi ini sering sama dan lebar garisnya digunakan untuk menentukan tipe transisi.

III. METODE PENELITIAN.

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen yang desain alat penelitiannya seperti Gambar 7, sedangkan sebagai sampelnya adalah bahan Gallium Arsenide (GaAs).



Keterangan : M_1 dan M_2 adalah cermin datar
L_1 dan L_2 adalah lensa positif.

Gambar 7. Desain Alat Penelitian.

Adapun penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Elektronika Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.

A. Hasil Penelitian.

Dari penelitian dengan menggunakan desain alat penelitian tersebut di atas diperoleh hasil penelitian sebagai berikut: Sampel bahan Gallium Arsenide (GaAs) ada 2, yaitu sampel 1 dan sampel 2, sehingga diperoleh Gambar 8 a sampai Gambar 9b (lihat lampiran).

Dari Gambar 8ª. sampai dengan Gambar 9b. pada Lampiran dapat disusun tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Data sampel GaAs pada suhu kamar yang disinari dengan Laser HeNe yang kerapatan dayanya = 0,95 mWatt/Cm^2

No.	Sampel	λ (nm)	I (cps)
1.	GaAs 1	874,601	1064
2.	GaAs 2	873,211	989

Tabel 2. Data sampel GaAs pada suhu kamar yang disinari dengan Laser Ar yang kerapatan dayanya = 100 mWatt/Cm^2

No.	Sampel	λ (nm)	I (cps)
1.	GaAs 1	873,181	16720
2.	GaAs 2	873,181	17601

B. Analisis Data Penelitian.

Setelah data penelitian diperoleh maka langkah selanjutnya adalah analisis data penelitian:

1. Dari Tabel 1. Sampel pada suhu kamar disinari dengan Laser HeNe (λ = 632,8 nm) yang kerapatan dayanya = 0,95 mWatt/Cm^2 diperoleh:
   a. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs sampel 1, adalah λ = 874,601 nm = 874,601. 10^{-9} m.
      I = 1064 cps.
      Kecepatan cahaya c = 3 . 10^8 m/s
      Konstanta Planck h = 6,626 . 10^{-34} J. s.
      Energi gap $E_g = E_C - E_V = h\upsilon$, karena $c = \lambda\ \upsilon$ maka $\upsilon = c/\lambda$, sehingga
      $E_g = \frac{h\,c}{\lambda}$ kalau data di atas dimasukan dalam rumus tersebut diperoleh hasil
      E_g = 1,4187 e V ≈ 1,42 eV.
   b. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs sampel 2, adalah λ = 873,211 nm = 873,211 . 10^{-9} m.
      I = 989 cps.
      Kecepatan cahaya c = 3 . 10^8 m/s
      Konstanta Planck h = 6,626 . 10^{-34} J. s.

Energi gap $E_g = E_C - E_V = h\upsilon$, karena $c = \lambda\ \upsilon$ maka $\upsilon = c/\lambda$, sehingga

$E_g = \frac{h\,c}{\lambda}$ kalau data di atas dimasukan dalam rumus tersebut diperoleh hasil

$E_g = 1{,}4209$ eV $\approx 1{,}42$ eV.

2. Dari Tabel 2. sampel disinari dengan Laser Ar (λ = 488 nm) dengan kerapatan dayanya = 100 mWatt/Cm^2 diperoleh bahwa :
   a. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs sampel 1, adalah $\lambda = 873{,}181\text{nm} = 873{,}181 . 10^{-9}$ m.

      I = 16720 cps.

      Kecepatan cahaya $c = 3 . 10^8$ m/s

      Konstanta Planck $h = 6{,}626 . 10^{-34}$ J. s.

      Energi gap $E_g = E_C - E_V = h\upsilon$, karena $c = \lambda\ \upsilon$ maka $\upsilon = c/\lambda$, sehingga

      $E_g = \frac{h\,c}{\lambda}$ kalau data di atas dimasukan dalam rumus tersebut diperoleh hasil

      $E_g = 1{,}421$ e V $\approx 1{,}42$ eV.

   b. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan semikonduktor GaAs sampel 2, adalah $\lambda = 873{,}181$ nm $= 873{,}181 . 10^{-9}$ m.

      I = 17601 cps.

      Kecepatan cahaya $c = 3 . 10^8$ m/s

      Konstanta Planck $h = 6{,}626 . 10^{-34}$ J. s.

      Energi gap $E_g = E_C - E_V = h\upsilon$, karena $c = \lambda\ \upsilon$ maka $\upsilon = c/\lambda$, sehingga

      $E_g = \frac{h\,c}{\lambda}$ kalau data di atas dimasukan dalam rumus tersebut diperoleh hasil

      $E_g = 1{,}421$ eV $\approx 1{,}42$ eV.

      Dari perhitungan di atas dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Bahan GaAs disinari Laser HeNe (λ = 632,8 nm dan I = 0,95 mWatt/Cm^2)

Sampel	λ (nm)	E_g (eV)
GaAs 1	874,601	1,42 eV
GaAs 2	873,211	1,42 eV

Tabel 4. Bahan GaAs disinari Laser Argon (((λ = 488 nm dan I = 100 mWatt/Cm^2)

Sampel	λ (nm)	E_g (eV)
GaAs 1	873,181 nm	1,42 eV
GaAs 2	873,181 nm	1,42 eV

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 tersebut di atas menunjukkan bahwa intensitas Laser HeNe (I = 0,95 mWatt/Cm^2) maupun Laser Argon (I = 100 mWatt/Cm^2) tidak mempengaruhi besarnya panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan semikonduktor GaAs paling kecil λ = 873,181 nm dan paling besar λ = 874,601 nm sedangkan energi gap GaAs adalah E_g = 1,42 eV.

Dari analisis data penelitian tersebut di atas diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan semikonduktor GaAs pada suhu kamar yang disinari dengan Laser Ar adalah λ = 873,181 nm dan λ = 874,601 nm.
b. Energi gap bahan semikonduktor GaAs pada suhu kamar adalah E_g = 1,42 eV.

c. Pembahasan.

Dari hasil analisis data penelitian ini didapatkan bahwa intensitas Laser Ar tidak mempengaruhi panjang gelombang dan energi gap, tetapi mempengaruhi intensitas photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs adalah λ = 873,181 nm dan λ = 874,601 nm, sedang energi gap bahan GaAs adalah 1,42 eV sedangkan menurut [(K. Takahashi & M. Konagi, 1986,) dan (S.M.Sze, 1981 dan S.M.Sze, 1985)]: Energi gap bahan GaAs

adalah 1,42 eV. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini dapat diterima.

Berdasarkan analisis data penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil penelitian ini dapat diterima, dengan demikian dapat dikatakan bahwa photoluminescence Laser Argon dapat digunakan untuk mengkarakterisasi bahan semikonduktor GaAs.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil penelitian ini dapat diterima, dengan demikian dapat dikatakan bahwa photoluminescence Laser Argon dapat digunakan untuk mengkarakterisasi bahan semikonduktor GaAs, dengan hasil sebagai berikut:

1. Panjang gelombang photoluminescence yang dihasilkan oleh bahan GaAs adalah 873,181 nm dan λ = 874,601 nm.
2. Energi gap bahan GaAs adalah 1,42 eV.

Saran

Bagi peneliti yang ingin menggunakan karakterisasi photoluminescence dengan sampel dan suhu yang bervariasi, disarankan sampel dimasukkan dalam tempat yang suhunya dapat diatur sesuai yang dikehendaki peneliti.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Dieter K. Schroder; *Semiconductor Material and Device Characterization*, John Wiley & Sons.Inc; Singapore, 1990. P. 448-449.

Lightowlers E.C., (Edited by Stradling R.A. and Klipstein P.C.), *Growth and Characterization of Semiconductors.* Adam Hilger, New York, 1991. P. 135-162.

Reka Rio S. dan Masamori Iida, *Fisika dan Teknologi Semikonductor,* P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 1982.

Spex Technical Notes, *Photoluminescence*, Spex Industries, Inc; USA, 4 June 1985.

Spex Technical Notes, *Measurement of Impurities Silicon with Photoluminescence,* Spex Industries, Inc; USA, September 1986.

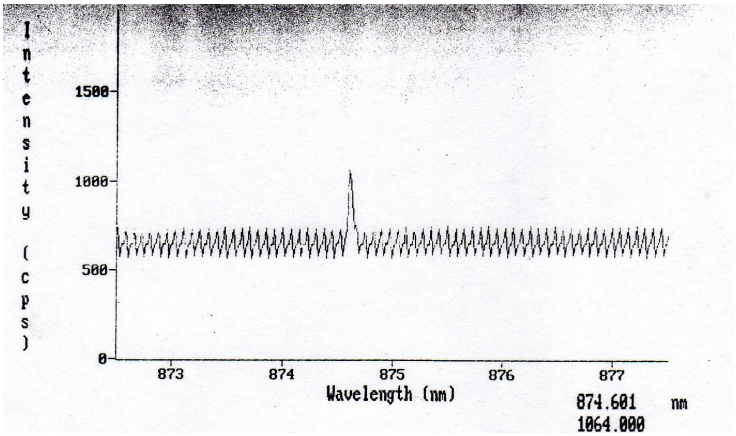
Sze S.M., *Physics of Semiconductor Devices,* John Wiely & Sons, New York, 1981.

Sze S.M., *Semiconductor Devices (Physics and Technology),* John Wiely & Sons, New York, 1985.

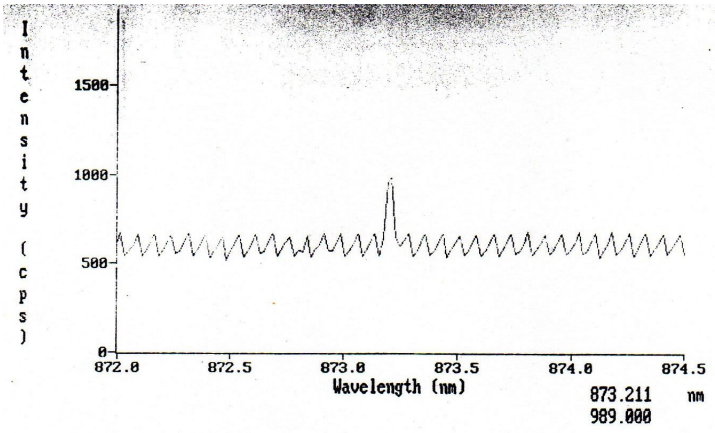
Takahashi K. & M. Konagi M., *Amorphous Silicon Solar Cell,* North Oxford Academic Publishers Ltd, London, 1986. p.14-17, 45-53, dan 97-122.

VII.LAMPIRAN:

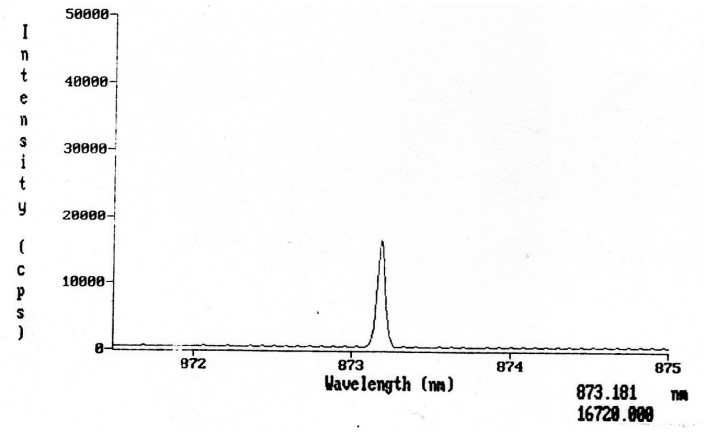
Dari penelitian diperoleh hasil data penelitian sebagai berikut: Sampel bahan semikonduktor Gallium Arsenide (GaAs) ada 2, yaitu sampel 1 dan sampel 2.



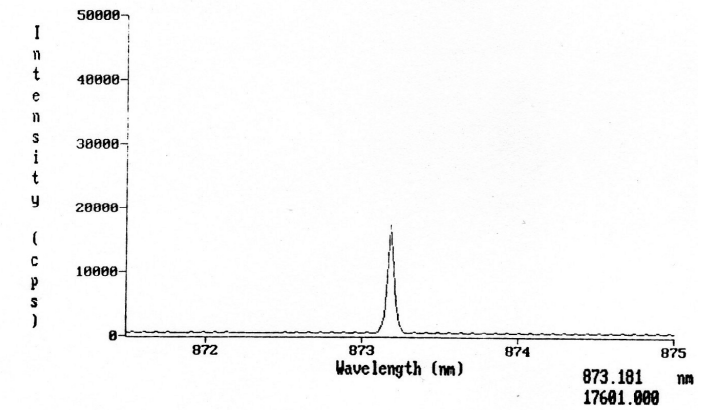
Gambar 4.3a. Sprektrum photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs sampel 1, pada suhu kamar yang disinari dengan Laser HeNe yang kerapatan dayanya = 0,95 mWatt/Cm^2



Gambar 4.3b. Sprektrum photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs sampel 2, pada suhu kamar yang disinari dengan Laser HeNe yang kerapatan dayanya = 0,95 mWatt/Cm^2



Gambar 4.4a. Sprektrum photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs sampel 1, pada suhu kamar yang disinari dengan Laser Ar yang kerapatan dayanya = 100 mWatt/Cm^2



Gambar 4.4b. Sprektrum photoluminescence yang dihasilkan oleh GaAs sampel 2, pada suhu kamar yang disinari dengan Laser Ar yang kerapatan dayanya = 100 mWatt/Cm^2

Pertanyaan : Besar energi gap bahan GaAs di luar suhu kamar, bagaimana? dapat lebih besar atau lebih kecil?

Jawab : Besarnya energi gap bahan GaAs pada suhu di atas suhu kamar cenderung mengecil tetapi di bawah suhu kamar, energi gap naik namun pada suhu 0 K cenderung konstan.