

STUDI AWAL PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN PHOTOLUMINESCENCE MENGGUNAKAN DETEKTOR CCD

Idha Royani & Fiber Monado
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Telah dilakukan studi awal pengembangan sistem pengukuran photoluminescence menggunakan detektor CCD. Di sini dibuat suatu rangkaian yang menghubungkan CCD ini ke perangkat lainnya seperti pulsa generator dan power supply serta menyusun perangkat lunak sehingga detektor ini dapat berfungsi sebagai sensor cahaya. Untuk menguji kebenaran kinerja dari sistem digunakan Light Emitting Diode (LED) sebagai sumber cahaya, juga digunakan detektor PMT sebagai pembanding. Dan ternyata hasilnya menunjukkan kesesuaian, jadi dapat disimpulkan bahwa sistem telah bekerja dengan baik.

PENDAHULUAN

Spektroskopi luminescence adalah suatu peralatan yang sangat sensitive untuk menyelidiki transisi elektronik intrinsik dan transisi elektronik pada impuritas dan cacat^[1,2], serta besarnya band gap^[3] dalam bahan semikonduktor. Teknik paling umum adalah photoluminescence (PL). Keuntungan karakterisasi bahan semikonduktor dengan PL adalah karena metodenya non destruktif^[5,11,12] di samping tidak memerlukan kontak.

Photoluminescence adalah radiasi yang diemisikan oleh proses rekombinasi antara elektron dan hole^[4,7]. Juga memberikan informasi yang berguna mengenai impuritas shallow-level dan deep-level^[5].

Karakterisasi bahan dengan PL biasanya dilakukan pada suhu rendah. Hal ini untuk mengurangi melebarnya tingkat energi akibat interaksi phonon^[6], atau meminimalkan melebarnya spektrum yang tajam oleh vibrasi kisi dan juga untuk menanggulangi ionisasi termal dari pusat-pusat yang aktif secara optik^[1].

Dalam eksperimen ini detektor yang digunakan adalah detektor charge couple device (CCD). Detektor CCD merupakan detektor dengan efisiensi kuantum yang tinggi. Baru-baru ini, kemajuan berarti telah dicapai dalam pengembangan detektor multichannel didasarkan pada CCD^[8]. Spektrum photoluminescence pada Mg yang didop dengan GaN menggunakan detektor CCD

silikon telah dilaporkan oleh U. Kaufmann dkk^[9]. Detektor di sini direalisasikan sebagai suatu *integrated circuit* (IC) silikon^[10], dimana bacaan keluaran dari informasi ini dikerjakan dengan pergeseran muatan yang terakumulasi jarak elemen detektor langsung ke preamplifier. Untuk tujuan ini tingkat tegangan dari elemen-elemen yang berurut dari IC divariasikan. Chip IC ini dapat didinginkan hingga mencapai temperatur nitrogen cair. Hal inilah yang menyebabkan CCD memiliki kesensitifan yang tinggi, berikut tingkat noise dan background yang sangat rendah, jadi memungkinkan waktu akumulasi yang sangat panjang. Permasalahannya sekarang adalah bagaimana penerapan detektor CCD ini untuk dapat digunakan sebagai image sensor dalam mendeteksi tingkat cahaya rendah.

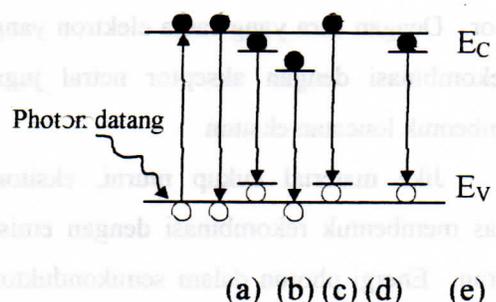
Tujuan penelitian ini adalah merancang konfigurasi sistem pengukuran photoluminescence dengan menggunakan detektor CCD, serta menyusun perangkat lunak sistem pengukuran photoluminescence tersebut.

Photoluminescence Bahan Semikonduktor

Perangkat optik dalam PL didesain untuk mendapatkan kumpulan cahaya

maksimum. Di sini, sampel dieksitasi dengan suatu sumber optik, yaitu dengan laser yang berenergi $h\nu > E_g$, hingga menghasilkan pasangan elektron-hole yang merupakan mekanisme rekombinasi. Dengan adanya energi dari sinar laser tadi, maka elektron akan bergerak menuju pita konduksi sedang hole tetap berada pada pita valensi. Saat elektron turun ke pita valensi, maka terjadilah rekombinasi antar keduanya. Untuk rekombinasi radiatif photon dengan berbagai energi diemisikan sedang rekombinasi non radiatif photon tidak diemisikan. Artinya output photoluminescence yang baik akan diperoleh dari proses rekombinasi yang bersifat radiatif.

Energi photon bergantung pada proses rekombinasi yang diilustrasikan pada Gambar.1, dimana lima pengamatan transisi PL paling umum ditampilkan.



Gambar 1. Transisi radiasi yang diamati dengan PL

Rekombinasi dari pita ke pita didominasi pada temperatur ruang (Gambar 1a), tetapi jarang diamati pada temperatur rendah dalam material dengan massa efektif kecil. Hal ini dikarenakan jari-jari orbital elektron besar. Pada temperatur rendah elektron dan hole dapat membentuk ikatan. Keadaan terikat (*bound state*) atau eksiton, itu terjadi akibat interaksi Coulomb diantara keduanya. Eksiton yang dapat bergerak bebas di dalam kristal dinamakan *free exciton* (FE), sedang yang terikat pada ketakmurnian atau cacat pada kristal dinamakan *bound exciton* (BE). Energi FE sedikit lebih kecil dari energi band gap yang dibutuhkan untuk menciptakan pemisahan pasangan elektron-hole (Gambar 1b). Suatu hole bebas dapat berekombinasi dengan donor netral untuk membentuk ion eksiton bermuatan positif atau BE (Gambar 1c). Elektron terikat dengan donornya melintas dalam suatu orbit yang luas disekitar donor. Dengan cara yang sama elektron yang berekombinasi dengan akseptor netral juga membentuk loncatan eksiton.

Jika material cukup murni, eksiton bebas membentuk rekombinasi dengan emisi photon. Energi photon dalam semikonduktor band gap langsung adalah:

$$h\nu = E_g - E_x \quad (1)$$

Dengan E_x adalah energi ikat eksiton. Dalam semikonduktor band gap tak langsung, hukum kekekalan momentum mensyaratkan emisi dari suatu phonon, yaitu:

$$h\nu = E_g - E_x - E_p \quad (2)$$

Dengan E_p adalah energi phonon. Rekombinasi eksiton terikat mendominasi pada rekombinasi eksiton bebas untuk material yang kurang murni. Suatu elektron bebas dapat berekombinasi kembali dengan sebuah hole pada sebuah akseptor netral (Gambar 1d), dan dengan cara yang sama suatu hole bebas dapat berekombinasi dengan sebuah elektron pada sebuah donor netral (Gambar 1c).

Sebuah elektron pada sebuah donor netral dapat berekombinasi dengan sebuah hole pada sebuah akseptor netral, rekombinasi donor-akseptor (D-A) diilustrasikan pada Gambar 1e. Garis emisi mempunyai sebuah energi yang dimodifikasikan oleh interaksi Coulomb antara donor dan akseptor.

$$h\nu = E_g - (E_A + E_D) + \frac{q^2}{k\epsilon_0 r} \quad (3)$$

dengan r adalah jarak antara donor dan akseptor.

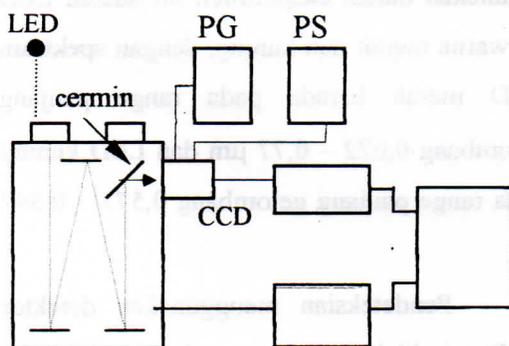
Energi photon dalam persamaan di atas dapat lebih besar dari pada band gap untuk $E_A + E_D$ kecil. Photon-photon seperti ini

umumnya diserap kembali dalam sampel. Untuk menentukan tipe transisi dapat diukur *full width at half maximum* (FWHM). Untuk transisi bound exciton FWHM adalah $\leq kT/2$ dan sedikit menyerupai fungsi delta lebar. Sedang untuk transisi donor pita valensi biasanya FWHM beberapa kT lebarnya. Inilah yang membedakan kedua transisi ini.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Elektronik Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung pada semester genap tahun 1999.

Desain eksperimen



Monokromat Monokromator

Gambar 2. Susunan lengkap peralatan eksperimen

Keterangan:

- Light Emitting Diode (LED)

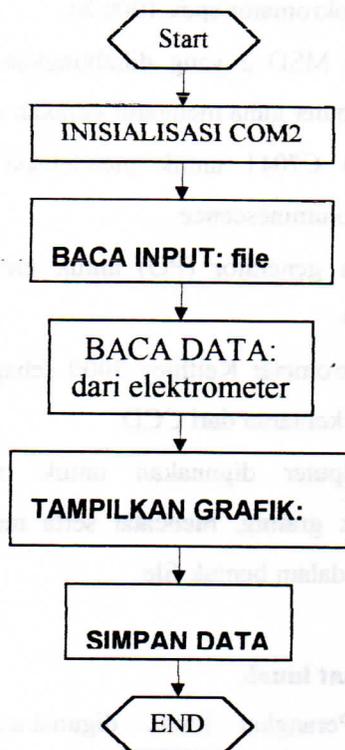
- Monokromator spex 1000 M.
- Spex MSD 2 yang dihubungkan dengan komputer guna mengatur gerakan grating.
- CCD C7041 untuk mendeteksi cahaya photoluminescence.
- Pulsa generator (PG) untuk mengontrol CCD.
- Elektrometer Keithley 2000 sebagai alat baca keluaran dari CCD.
- Komputer digunakan untuk mengatur gerak grating, mencatat serta meyimpan data dalam bentuk file.

Perangkat lunak

Perangkat lunak digunakan untuk mensest dan menggerakkan monokromator, mensest daerah panjang gelombang yang hendak discan sesuai kebutuhan, mencatat hasil yang diperoleh serta menyimpannya dalam bentuk file.

Komunikasi yang digunakan antara komputer dengan monokromator adalah sistem komunikasi RS-232C. Sistem komunikasi RS-232 digunakan untuk komunikasi lambat (110 sampai 19200 bit perdetik atau baud). Pada eksperimen yang dilakukan, komunikasi terjadi melalui com2 dari komputer.

Berikut ini bagan alir program yang dipergunakan.



Gambar 3. Bagan alir program untuk menset panjang gelombang monokromator.

Cara pengambilan data eksperimen

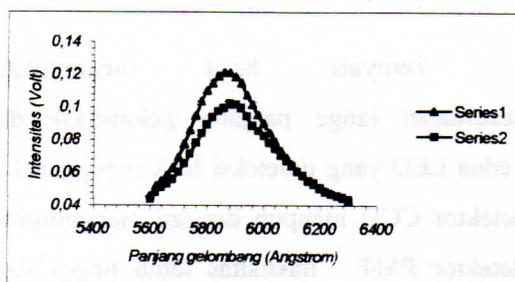
1. Siapkan alat dan sampel yang akan diukur.
2. Susun alat seperti Gambar
3. Hidupkan komputer
4. Gelapkan ruangan
5. Nyalakan detektor
6. Buka slit monokromator perlahan-lahan sampai nilai yang dikehendaki
7. Pada komputer jalankan program

HASIL DAN PEMBAHASAN

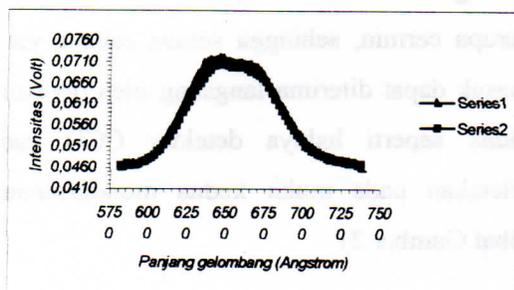
Dalam pengembangan sistem photoluminescence dengan menggunakan detektor CCD ini, telah diuji coba kinerja perangkat yang digunakan meliputi perangkat keras dan lunak. Di sini elektrometer Keithley 2000 telah menunjukkan bahwa cahaya yang diterima oleh CCD yang dikonversikan berupa tegangan dapat terbaca. Artinya, rangkaian dari CCD ke perangkat pendukung lainnya yang telah dibuat seperti power supply dan pulsa generator adalah benar.

Untuk menguji kebenaran ini, sumber cahaya yang digunakan adalah *Light Emitting Diode* (LED), di mana spektrumnya berada pada range cahaya tampak. LED yang digunakan dalam eksperimen ini adalah LED berwarna merah dan kuning, dengan spektrum LED merah berada pada range panjang gelombang 0,622 – 0,77 μm dan LED kuning pada range panjang gelombang 0,577 – 0,597 μm .

Pendeteksian menggunakan detektor CCD ini dilakukan dengan dua mode, yaitu mode line binning dan mode area scanning, seperti ditunjukkan pada gambar hasil sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Intensitas vs Panjang gelombang, untuk led kuning
 Series 1 : Area scanning.,
 Series 2 : Line binning



Gambar 5. Grafik Intensitas vs Panjang gelombang, untuk led merah
 Series 1 : Area scanning.,
 Series 2 : Line binning

Grafik intensitas terhadap panjang gelombang sebagaimana hasil, diperoleh dengan membuat suatu perangkat lunak pada software komputer yang ditulis dalam bahasa Microsoft Qbasic, sehingga kita dapat menentukan berapa panjang gelombang yang dikehendaki dengan mengatur gerak grating monokromator serta dapat menyimpan data dalam bentuk file.

Dari grafik hasil yang diperoleh pada Gambar.4 dan Gambar.5 dimuka, maka dapat disusun data seperti terlihat pada Tabel.1 berikut, di mana λ_m merupakan panjang gelombang untuk spektrum intensitas maksimum dan $\Delta\lambda$ sebagai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang diberikan.

Tabel 1. Hasil perhitungan data eksperimen

Sumber Cahaya	Panjang gelombang pusat $\lambda_m(\text{\AA})$	Intensitas Maksimum $I_{max}(\text{Volt})$	FWHM $\Delta\lambda (\text{\AA})$	Energi Photon $h\nu(\text{eV})$
Led merah (line binning)	6500	0,0704	645	1,908
Led merah (area scanning)	6460	0,07198	685	1,919
Led kuning (line binning)	5880	0,10222	296	2,109
Led kuning (area scanning)	5880	0,12118	300	2,109

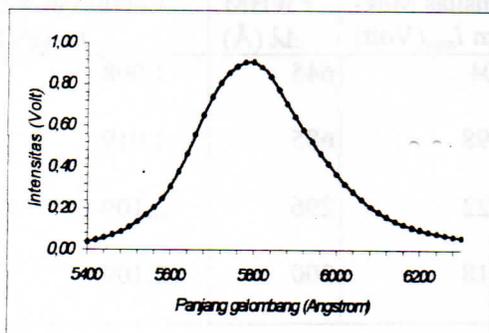
Dengan mengacu pada data di atas, terlihat bahwa pendeteksian dengan

menggunakan detektor CCD untuk sumber cahaya LED adalah lebih baik jika kita

memakai mode line binning dibandingkan dengan menggunakan mode area scanning. Hal ini dapat dilihat dari nilai FWHM-nya, di mana semakin kecil nilai FWHM maka resolusinya menjadi lebih tinggi.

Selain range panjang gelombang spektrum yang diperlihatkan pada Gambar.4 dan Gambar.5, energi photon yang diberikan pada Tabel di atas juga menunjukkan kesesuaian terhadap referensi yang telah ada. Artinya, set up peralatan spektroskopi photoluminescence dengan menggunakan detektor CCD yang dilakukan telah bekerja dengan baik.

Untuk mengetahui kebenaran ini lebih lanjut, maka digunakan detektor photomultiflier (PMT) sebagai pembanding, di mana set up eksperimen menggunakan detektor ini telah teruji kebenarannya secara baik [13].



Gambar 6. Grafik Intensitas vs Panjang gelombang (Led kuning)

Ternyata hasil menunjukkan kesesuaian range panjang gelombang dari kedua LED yang dideteksi baik menggunakan detektor CCD maupun dengan menggunakan detektor PMT. Intensitas lebih tinggi yang diperoleh detektor PMT dimungkinkan karena detektor diletakkan pada mulut utama monokromator, yang mana tidak dibutuhkan perangkat tambahan pada monokromator berupa cermin, sehingga semua cahaya yang masuk dapat diterima langsung oleh detektor. Tidak seperti halnya detektor CCD yang diletakkan pada mulut kedua monokromator (lihat Gambar 2).

KESIMPULAN

1. Telah dilakukan studi awal pengembangan sistem photoluminescence dengan menggunakan detektor CCD baik berupa perangkat keras maupun perangkat lunak.
2. Hasil menunjukkan bahwa mode line binning lebih baik dari mode area scanning karena resolusinya lebih tinggi. Namun demikian untuk keperluan lain mode area scanning dapat dimanfaatkan karena perolehan intensitasnya yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Lightowers E.C., "Photoluminescence characterisation", dari Stradling R.A & Klipstein P.C, 'Growth and Characterization of Semiconductor, J.W.Arrowsmith Ltd, Bristol, 1991.
- Qurashi U.S., Iqbal M.Z., Anderson T.G., "Photoluminescence Study of Al doping in GaAs Grown by Molecular Beam Epitaxy", J.Appl. Phys, 80(10), 1996, p5932-5940.
- Stillman G.E., Bose S.S., Kim M.H., Lee B., Low T.S., "Characterization and Properties of Semiconductor", dari Moss T.S., Mahajan S. (eds), 'Handbook on Semiconductor Material, Propertis and Preparation', Vol. 3a, North-Holland, 1994, 934-989.
- Street R.A., 'Hydrogenated amorphous silicon', Cambridge University press, New York, 1991.
- Schroder D.K., 'Semiconductor Material and Device Characterization', John Wiley & Sons, Singapore, 1990.
- Tallan D.R., Kelly M.J., Guilinger T.R., Simpson R.L., " Porous Silicon Photoluminescence : Implication from in situ studies", J. Appl. Phys, 80(12), 1996, 7009-7017.
- Montie E.A., ' Spectroscopic studies of layered and bulk semiconductor materials', 1990.
- GüntherBauer & Wolfgang Richter, ' Optical Characterization of Epitaxial Semiconductor Layer', Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 1996.
- Kaufmann U., Kunzer M., Maier M., Obloh H., Ramakrishnan A., Santic B & Schlotter., "Nature of The 2.8 eV photoluminescence band in Mg doped Gan", J. Appl. Phys, 72(11), 1998, 1326-1328.
- Bilhorn R.B., Sweedler J.V., Epperson P.M., Denton M.B., Appl. Spectroscopy 41, 1114 (1987), dalam GüntherBauer & Wolfgang Richter, ' Optical Characterization of Epitaxial Semiconductor Layer', Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 1996.

Dean P.J., "Photoluminescence as a diagnostic of semiconductors", Prog. Crystal Growth Charact 182, Vol.5, pp 89-174.

Iga K & Kinoshita S., 'Proses Teknologi for Semiconductor Lasers', Springer Verlag, 1996.

Huda C., 'Pengembangan Perangkat Lunak dan Perangkat Keras Spektrometer Fotoluminesensi Suhu Rendah', Tesis, Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung, 1999.