

IMPLANTASI ION ERBIUM PADA SUBSTRAT KACA UNTUK PENINGKATAN SIFAT OPTIS

Subarkah, BA Tjipto Sujitno, Trimarji Atmono

Puslitbang Teknologi Maju -BATAN

ABSTRAK

IMPLANTASI ION ERBIUM PADA SUBSTRAT KACA UNTUK PENINGKATAN SIFAT OPTIS. Telah diamati bentuk dobel huni (upconversion) hasil implantasi ion erbiium pada substrat kaca dengan eksitasi sumber cahaya lampu kilat dengan tenaga masukan listrik sebesar 100 Joule. Spektrum sumber lampu kilat keluaran adalah dari panjang gelombang 300 nano meter sampai dengan 900 nano meter. Dengan monokromator dipilih panjang gelombang 810 nano meter sebagai sumber pemompa optis ion erbiium pada substrat kaca. Dari hasil eksitasi panjang gelombang tersebut diperoleh emisi dobel huni pada ion erbiium pada panjang gelombang 550 nano meter dan 660 nano meter dengan daya/intesitas sangat lemah sekali yaitu orde sekitar 8- 20 mikro volt (daya relatif) dalam sistem peralatan dan pengamatan. Pada percobaan ini, lampu kilat yang digunakan tipe FL 142 yang berisi gas Xenon dengan tekanan 100 torr yang dilengkapi dengan picu tegangan sebesar 20 kV. Sumber emisi dobel huni ditangkap oleh monokromator yang dikopel dengan detektor PMT (Photo Multiplier Tube). Demikian juga dalam hal pengamatan spektrum cahaya menggunakan detektor PMT. Diperoleh emisi cahaya fotoluminisensi sangat lemah karena dosis ion implantasi rendah atau sumber pemompaan cahaya lampu kilat sangat lemah pula.

Kata Kunci : Implantasi ion erbiium, upconversion

ABSTRACT

ERBIUM ION IMPLANTATION ON GLASS SUBSTRATE FOR ENHANCED OPTICAL PROPERTIES. It has been observed the upconversion of erbium ion doped on glass substrate using flash lamp emission source having electric energy input 100 Joule. The spectrum of flash lamp light source are from 300 nano meter to 900 nano meter wavelength used as optical pumping source to erbium doped glass substrate. By using a monochromator it can be tuned the out put wavelength of 810 nano meter as an optical pumping source of erbium doped on glass. By the excitation 810 nano meter wavelength can be released the photon with 550 and 660 nano meter wavelength with power output is very weak about 8-20 mikro volt (relatively) to the observer and devices. In the experimen the flash lamp is used FL 142 type using xenon with of 100 torr presurre including trigger votage is 20 kV. The upconversion emission send to monochromator coupled with PMT (Photo Multiplier Tube) detector. The spectrum of light from upconversion was observed using PMT detector with 1,5 kV operation voltage. The result photoluminiscences emission is too weak because of low implantation ion dose or the optical pumping of flash lamp emission is also too weak.

Key words : Erbium ion implantation, upconversion

PENDAHULUAN

Sumber cahaya hijau dan biru pada bahan padat sangat diperlukan sekali untuk penyimpanan optik (*storage optical*), kerapatan tinggi, penampilan warna, dan optoelektronik^[1]. Lebih jauh konversi gelombang infra merah menjadi gelombang tampak secara intensif telah dipelajari dari bermacam-macam kristal dan gelas yang didoping dengan ion tanah jarang. Bahan gelas sangat baik untuk proses dobel huni (*upconversion*) laser gelas, ampliflier serat optik karena laju relaksasi multiphonon yang kecil serta mempunyai

efisiensi besar^[2]. Diantara ion tanah jarang yang memancarkan gelombang fluoresensi konversi dobel adalah Erbium (Er^{3+}) yang banyak dipelajari sebagai ion aktif dan memberikan efisiensi tinggi. Telah dilaporkan bahwa sifat-sifat radiasi suatu sistem atom atau molekul bisa menunjukkan sifat bahan yang menonjol karena kehadiran permukaan dielektrik tetangga. Hubungan seri antara teori dan kerja eksperimen telah banyak dilaporkan^[3].

Mekanisme konversi dobel terutama terdiri dari beberapa proses yakni : serapan aras dasar (STD), serapan aras eksitasi (SAE), transisi dipol listrik (TDL), transisi dipol magnet (TDM),

relaksasi multiphonon (RMP), dan transfer energi (TE). Zou dan Izumitani telah melaporkan mekanisme konversi dubel ion erbijum pada bahan gelas dengan cahaya eksitasi dibawah panjang gelombang 980 nm. Terbentuk konversi dubel pada pancaran 660 nm. yang digenerasi dengan proses TE ($4I_{11/2} \rightarrow 4F_{15/2}; 4I_{13/2} \rightarrow 4F_{9/2}$) dan dihasilkan pada pancaran 550 nm pada proses ($4I_{11/2} \rightarrow 4I_{15/2}; 4I_{11/2} \rightarrow 4I_{7/2}$). Maka proses TE sangat penting untuk dimengerti pada mekanisme konversi dubel.

Proses konversi dubel multistep berdasar STD, SAE dan TE untuk eksitasi. Menurut eksperimen Takahasi dan kawan-kawan, intensitas emisi konversi dubel sekitar panjang gelombang 550 nm bertambah mengikuti perubahan konsentrasi ErF_3 dengan sumber eksitasi 800 nm^[4]. Menurut mereka bahwa proses SAE merupakan proses prinsip untuk kawasan pita emisi 550 nm. Karena efisiensi SAE tidak bergantung pada konsentrasi dan populasi eksitasi dengan proses SAE namun bertambah secara linear dengan penambahan konsentrasi ErF_3 . Namun proses TE perlu dipertimbangkan dalam pancaran 550 nm pada ErF_3 pada konsentrasi tinggi.

Dalam mempelajari hal ini diamati ketergantungan intensitas pancaran Er^{3+} yang didopingkan pada bahan gelas dengan berbagai variasi dosis dibawah gelombang eksitasi 810 nm.

DASAR TEORI

Proses dubel huni pada ion tanah jarang didominasi oleh laju TDL, TDM, RMP, TE, STD, dan SAE. Laju TDL dapat digambarkan oleh teori Judd Ofelt^[4,5,6].

$$W_{TDL} = \frac{64\pi^4 \nu^3 e^2}{3h(2J+1)C^3} \times \frac{n(n^2+2)^2}{9} (K_2 L_2 + K_4 L_4 + K_6 L_6) \quad (1)$$

dengan ν : frekuensi; e : muatan elektron; J : nomor kuantum momentum sudut pada suatu aras transisi ; n : indek bias *housing* (substrat). K_2, K_4, K_6 : paramameter Judd Ofelt ; L_2, L_4, L_6 : elemen matrik operasi tensor dari aras awal sampai aras final.

Harga K_2, K_4, K_6 untuk erbijum pada substrat gelas dapat diukur spektrum dan serapan serta indek biasanya.

Laju transisi dipol magnit (TDM) hampir tidak berubah oleh pengaruh perubahan materi substak dan bergantung pada harga indek bias secara relatif. Sedang laju transisi multiphonon (RMP) dapat didekati dengan persamaan teori Miyagawa dan Dexter^[7]:

$$W_{RMP} = D \exp(-\alpha \Delta E) \quad (2)$$

dengan ΔE : energi gap pada aras yang lebih rendah; D dan α : parameter yang dapat dihitung dari proses TDL, TDM dan pengukuran waktu hidup fluoresensi.

Perlakuan terjadinya laju tranfer energi (W_{TE}) resonan secara detail diterangkan oleh Kushida^[8]. Laju energi tranfer (W_{TE}) terutama dari transfer dipol -dipol, dipol-kuadrupol, dan kuadrupol-kuadrupol. Telah dilaporkan bahwa proses dengan tranfer energi pengaruh Phonon memegang peranan penting dalam proses dubel huni masing-masing untuk emisi 550 nano meter dan 660 meter pada subtrat gelas dengan eksitasi dibawah 900 nano meter.

Laju tranfer energi pengaruh phonon dapat dituliskan dalam persamaan (W_{TEP})^[7] :

$$W_{TEP} = W_{TE} \exp(-\beta \Delta E) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\ln(2)}{h\nu} \quad (4)$$

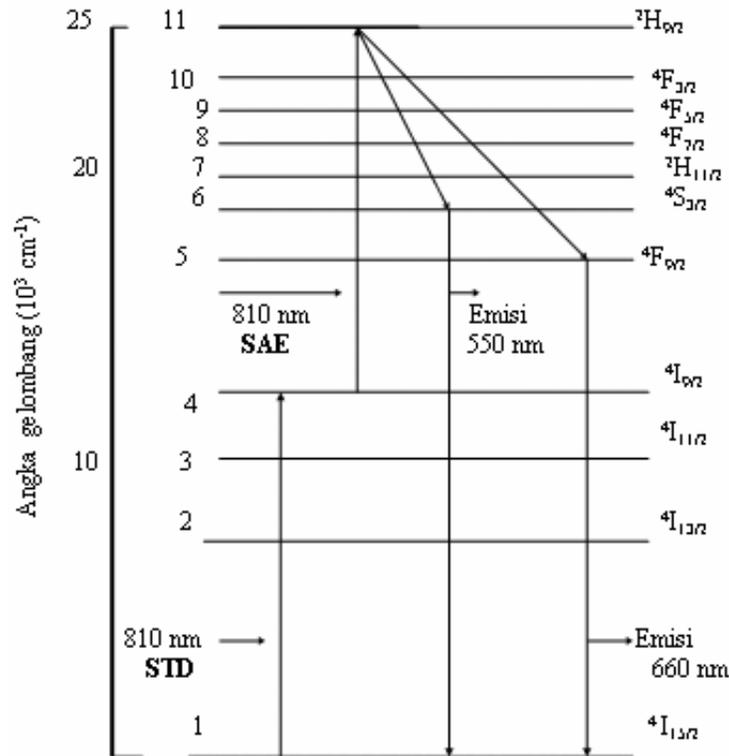
dengan W_{TE} : laju tranfer energi resonan, $h\nu$: mempresentasikan energi phonon dalam substrat gelas dan β : berhubungan dengan α pada relaksasi multiphonon (lihat persamaan 2).

Laju persamaan tingkat dasar (W_{STD}) dan laju serapan eksitasi (W_{SAE}) dapat disajikan dalam persamaan :

$$W_{STD} = \Omega Q \quad (5)$$

$$W_{SAE} = \Omega' Q \quad (6)$$

dengan Ω, Ω' : tampang lintang serapan dan Q : flux foton yang terjadi.



Gambar 1. Skema diagram aras energi ion Er³⁺.

TATA KERJA

Pertama kali yang dilakukan adalah membersihkan substrat gelas dari debu dan lemak-lemak yang menempel di bahan tersebut dengan alkohol yang dimasukkan dalam pembersih pesawat ultrasonik. Kemudian substrat yang sudah bersih di-implantasi dengan ion erbijum dengan berbagai variasi energi dari 60 sampai 100 keV dengan arus ion yang dapat dihasilkan dalam sistem sumber ion. Disamping itu juga divariasi waktu implantasi dari 20 menit sampai dengan satu jam. Arus ion erbijum yang dihasilkan sebesar 5 mikro ampere dengan diameter berkas sebesar 2 cm.

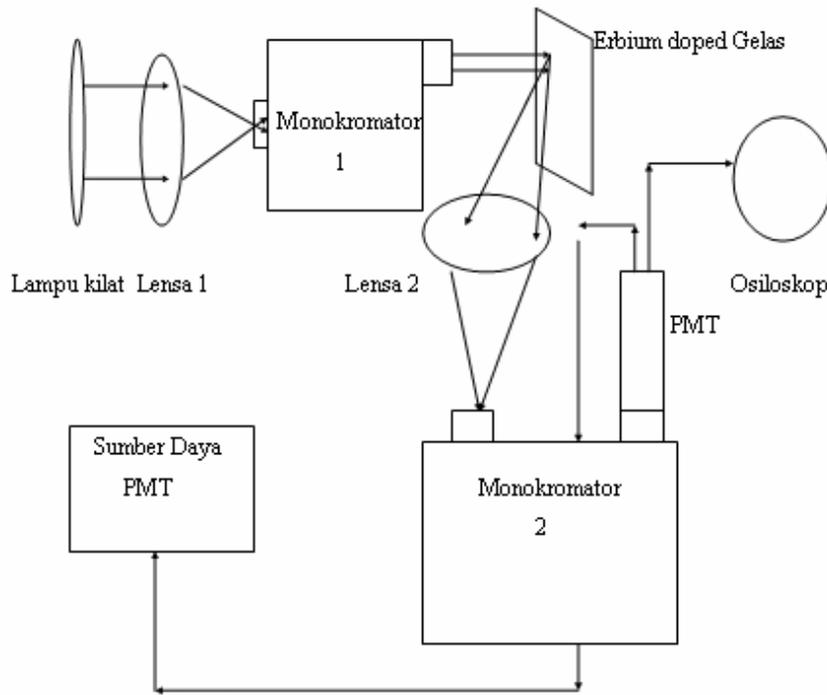
Setelah substrat gelas selesai diimplantasi dengan ion erbijum kemudian diamati bentuk keluaran fluoresensinya dengan menggunakan sumber lampu kilat dengan detektor PMT (*Photo Multiplier Tube*) yang peralatan eksperimennya tersusun seperti pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa sumber cahaya lampu kilat difokuskan lensa 1 masuk ke

monokromator agar diperoleh intensitas tinggi. Kemudian cahaya di-*scan* dari panjang gelombang 300 nano meter sampai 900 nano meter (hasil ditunjukkan pada Gambar 3). Dari hasil tersebut kemudian dipilih posisi *grating* untuk panjang gelombang 810 nano meter sebagai sumber pemompa optis Er doped gelas. Er doped gelas yang dipompa dengan sumber cahaya tersebut menimbulkan eksitasi pada ion erbijum yang dalam keadaan stabil, kemudian tereksitasi ke aras yang lebih tinggi (⁴I_{15/2} → ⁴F_{9/2} → ²H_{9/2}) (*upconversion*).

Dari aras ²H_{9/2} kemudian meluruh (de-eksitasi) ke ⁴F_{9/2} dan ⁴S_{3/2} secara cepat, seterusnya ke ⁴I_{15/2}, dan ke ⁴S_{3/2} lebih lambat (lihat Gambar 1.). Sumber cahaya polikromatis yang bersal dari Er doped gelas difokuskan ke lensa 2 agar diperoleh sumber intensitas cahaya yang lebih kuat pula. Setelah masuk monokromator 2 di-*scan* untuk memperoleh panjang gelombang 550 nm dan 660 nm. detektor PMT yang digunakan dioperasikan pada tegangan 1500 V sampai 2000 V, agar diperoleh kepekaan yang semaksimal mungkin dengan gangguan elektronik sekecil mungkin.

Sinyal yang ditangkap PMT kemudian diteruskan ke osiloskop untuk diamati tinggi keluaranya.



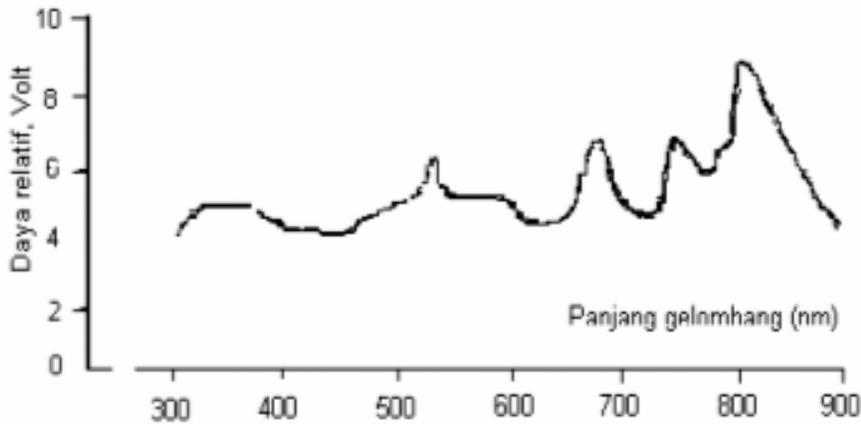
Gambar 2. Susunan percobaan pengamatan fluoresensi Er doped Gelas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

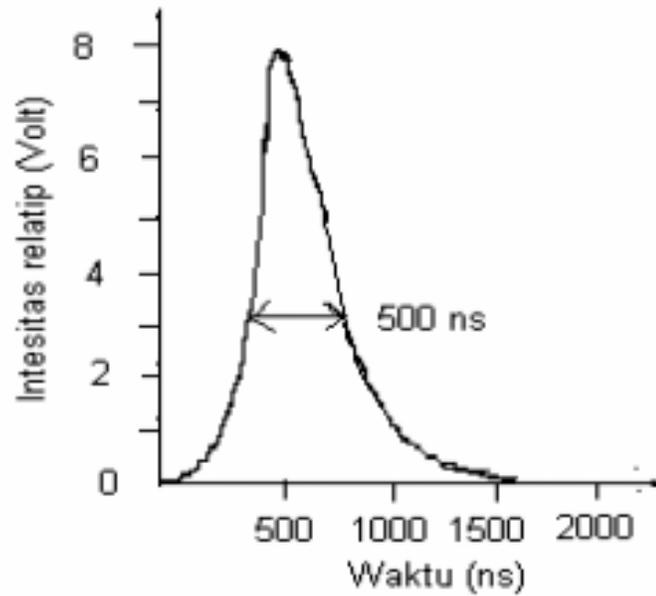
Hasil *scan* spektrum panjang gelombang sumber cahaya lampu kilat disajikan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 terlihat bentuk keluaran spektrum panjang gelombang lampu kilat yang berisi gas xenon yang diberi energi listrik sebesar 100 Joule, picu tegangan 20 kV, membentuk

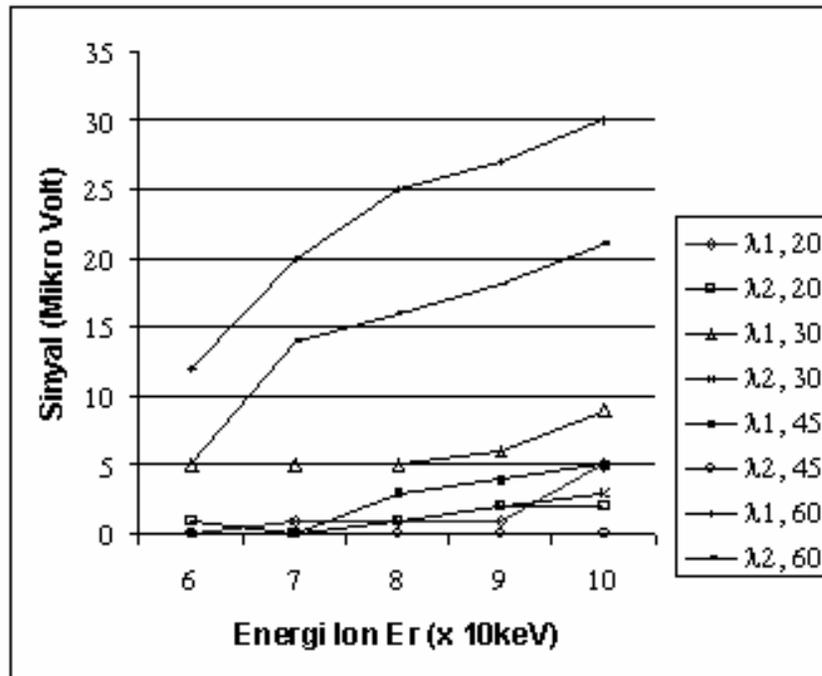
puncak pada daerah panjang gelombang 800 - 820 nm. Ini sangat berguna dalam memberikan energi masukan maupun pengaruhnya terhadap efisiensi pemompaan optis. Keluaran sumber cahaya lampu kilat yang di-*scan* sangat dipengaruhi oleh jenis gas, daya masukan listrik maupun picu tegangan, tentu saja ada batas optimasi/minimisasi yang diperlukan.



Gambar 3. Intensitas keluaran relatif cahaya lampu kilat terhadap fungsi panjang gelombang (energi listrik masukkan 100 joule).

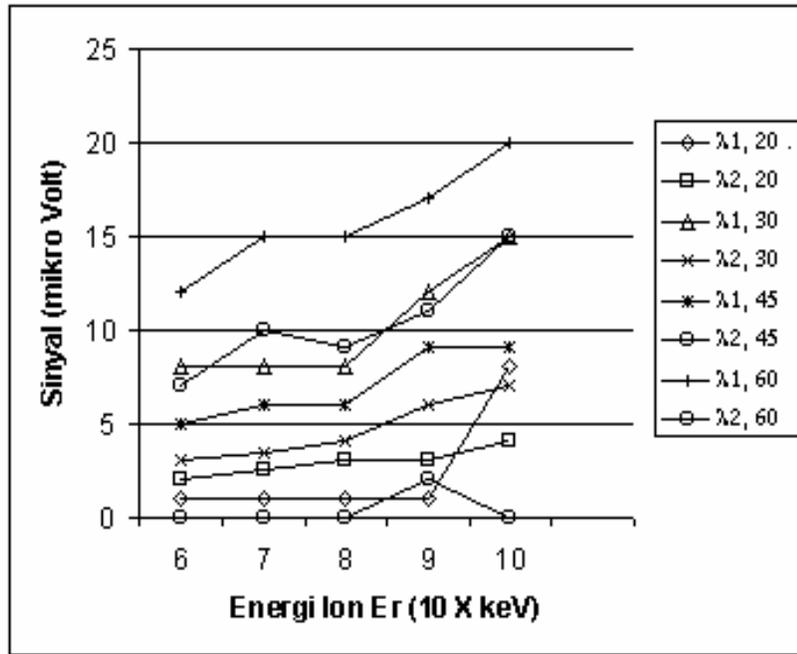


Gambar 4. Bentuk keluaran cahaya lampu kilat energi masukan $(1/2)CV^2 = 100$ Joule ($C=25 \mu F$, $V = 2kV$, pemacu = 20 kV).



Gambar 5. Grafik hubungan antara Energi ion Er dengan pancaran sinyal keluaran pada panjang gelombang $\lambda_1 = 550$ nm dan $\lambda_2 = 660$ nm sebelum bahan gelas doped Er dipanasai. Lambang bilangan 20

sampai dengan 60 menyatakan waktu implantasi dalam satuan menit.



Gambar 6. Grafik hubungan antara energi ion Er dengan pancaran sinyal keluaran pada panjang gelombang λ₁ = 550 nm dan, λ₂ = 660 nm setelah bahan Er doped gelas dipanasi dengan suhu 400 °C.

Pada Gambar 4. terlihat bentuk keluaran daya keluaran cahaya lampu kilat total dengan lebar pulsa 500 nano sekon. Bentuk ini sangat dipengaruhi oleh sistem bank kapasitor maupun tahanan yang digunakan. Sedang yang diperlukan dalam pemompaan optis gelas didoping Er gelas perlu lebar pulsa yang sesuai dengan waktu hidup tingkat eksitasi, sehingga mampu membentuk populasi di aras tingkat atas. Dalam hal ini sudah ada kesesuaian namun belum mampu bervariasi.

Dari grafik (Gambar 5) terlihat bahwa pada energi 60 keV waktu implantasi 20 menit sinyal λ₁ dan λ₂ tampak kecil sekali (intensitas relatif) karena tidak memenuhi dosis ion yang dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \frac{I \cdot t}{e \cdot A} \tag{7}$$

dengan *I* : arus ion; *t* : waktu implantasi; *e* : muatan elektron (1,602 × 10⁻¹⁹ Coulomb); *A* : luas

permukaan target. Jika dihitung untuk diameter substrat gelas = 2 cm menghasilkan dosis sangat kecil . Sedang untuk energi 100 keV kemungkinan syarat minimumnya sudah memenuhi. Untuk waktu 30 menit sudah ada sinyal tapi belum bisa memastikan keakurasi/ kebenarannya karena pada waktu implantasi 45 menit justru sinyal menurun, kemungkinan besar sumber lampu kilat yang kurang stabil, sehingga output keluarannya mengecil (perlu normalisasi sumber cahaya). Untuk waktu implantasi 60 menit ada perubahan sinyal dari λ₁ dan λ₂, ini menunjukkan bahwa dosis yang diperlukan sudah mencukupi target.

Setelah substrat dipanasi pada suhu 400 °C (Gambar 6.) diharapkan ada perubahan struktur kisi menjadi lebih baik dan mengakibatkan sinyal bertambah besar. Namun kenyataan untuk waktu 20-45 menit justru sinyal menurun, ini dimungkinkan struktur kisi malah menjadi rusak karena dosis ion kurang besar. sedang untuk waktu 60 menit terjadi peningkatan sinyal ini sesuai dugaan yang dipikirkan oleh kebanyakan peneliti.

Keluaran sinyal 550 nm dan 660 nm terjadi perbedaan karenaampang lintang serapan pada pita $^4S_{3/2}$ jauh lebih besar dibandingkan dengan pita $^4F_{9/2}$. Hal ini menunjukkan waktu hidup di pita/aras $^4S_{3/2}$ lebih lama dibandingkan waktu hidup di $^4F_{9/2}$.

KESIMPULAN

Telah berhasil mengimplantasi ion erbium pada substrat kaca dengan ukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$ Arus ion yang diperoleh dari sumber ion sebesar 5 mikro ampere dengan energi bervariasi dari 60 keV sampai dengan 100 keV dengan waktu yang divariasi pula dari 20 menit sampai dengan 1 jam. Emisi fotoluminisensi sangat lemah, ini disebabkan dosis ion kurang memenuhi syarat atau karena sumber pemompaan cahaya lampu kilat kurang besar intensitasnya. Dari uji sifat optis dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan bahan yang diimplantasi dengan energi 100 keV kurang besar energinya karena sangat mempengaruhi efisiensi masuknya ion erbium pada substrat kaca mengingat yang dimasukkan pada tingkat muatan (*charge state*) dengan harga +1 (Er^{+1} , seharusnya Er^{+3} namun tidak keluar).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para teknisi, saudara Al. Sunarta yang telah membantu mengimplantasi ion erbium kedalam gelas dan saudara Slamet Riyadi yang telah merekonstruksi kembali sumber lampu kilat dan saudara Sumaji yang membantu dalam men-*set up* monokromator beserta PMTnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.A. MUNOZ, B. HERREROS, G. LIFANTE, and F. CUSSO, *Concentration Dependence of the 1.5 μm Emission Lifetime of Er^{3+} in LiNbO_3 Radiation Trapping*, Departamento de Fisica de Materiales, C - IV Universidad Autonoma de Madrid, E- 28049 Madrid, Spains, 1998.
- [2] STEVAN R. LUTHI and HANS U. GUDEL, *Electronic Energy Level Structure, Correlation Crystal Field Effects, and $f-f$ Transition Intensities of Er^{3+} in $\text{Cs}_3\text{Lu}_2\text{Cl}_2$* , Departement fur Chemie und Biochemie, Universitas Bern, Freiestrasse 3, CH-3000 Bern 9, Switzerland, 1998.
- [3] M. TSUDA, K SOGA, H. INOUE, and A MAKISHIMA, *Upconversion Mechanism in Er*

$^{3+}$ -Doped Fluorozirconate Glasses under 800 nm Excitation, Department of Materials Science, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan, 1998.

- [4] S. TANABE and T. HANADA, *J. Appl. Phys* 76, 3790, 1994.
- [5] M. J. WEBER, *Phys. Rev* 157, 262, 1967.
- [6] M. SHINN, W.A. SIBLEY, M. G. DREX-HAVE, and E.N. BROWN, *Phys. Rev. B* 27, 6635, 1983.
- [7] T. MIYAGAWA and D.L. DEXTER, *Phys. Rev. B* 1, 2961, 1970.
- [8] T. KUSHIDA, *J. Phys.Soc, Japan* 34, 1318, 1973.

TANYA JAWAB

Sigit Purwanto

– Mengapa housing digunakan bahan gelas? Tidak dengan bahan yang lain.

Subarkah

– Untuk Erbium bahan housing yang paling baik adalah gelas/kaca karena multiphonon yang terjadi cukup kecil sehingga mengurangi panas yang terjadi. Sedang bahan lain kurang baik karena multiphononnya cukup besar.

Rany Saptaji

– Mengapa dipilih sumber pemompa optis 810 nm?
– Up conversion pada atom erbium terjadi dua pancaran dominan panjang gelombang $\lambda_1 = 660 \text{ nm}$ dan $\lambda_2 = 550 \text{ nm}$. Apakah ada pancaran lain yang signifikan?

Subarkah

– Karena sumber pemompa cahaya yang paling efektif pada panjang gelombang 810 nm, daerah tersebut mempunyai serapan terbesar untuk atom erbium.
– Jelas ada pancaran panjang gelombang yang lain namun sangat kecil, tidak signifikan karenaampang lintang serapan di aras lain tidak ada yang besar.

Saminto

- Apa hubungannya lebar pulsa lampu kilat dengan sumber pemompa optis?
- Sumber ion tingkat muatannya (charge state) +1, sedang yang diperlukan tingkat muatannya +3, apa pengaruhnya terhadap efisiensi?

Subarkah

- Hubungannya adalah laju pemompaan, lebar pulsa menunjukkan waktu hidup pulsa. Jika lebar pulsa terlalu lebar tidak mampu mengeksitasi dari aras dasar ke aras atas $^4I_{9/2}$ dan $^2H_{9/2}$.
- Jelas kurang efisien, karena ion Er^{+1} akan menempati ruang di gelas/kaca kurang tepat, sehingga mempengaruhi pancaran cahaya yang

terjadi (fotoluminisensi) kurang besar intensitasnya.

Yunanto

- Apakah ada bahan lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan rapat optis.
- Selain implantasi ion apa ada metode untuk membuat lapisan tipis erbium.

Subarkah

- Ada, yaitu semua bahan yang bersifat aktif (tanah jarang), namun mempunyai fotoluminisensi yang berbeda-beda pula.
- Karena doping perlu implantor ion, diperlukan energi ion tinggi orde ratusan keV sampai MeV.