

Efek Jenis Pelarut pada Sifat Optik, Morfologi Permukaan dan Koefisien *Waveguide Loss* dari Pandu Gelombang Planar Polimer Terkonjugasi MEH-PPV

Ayi Bahtiar,* Yeni Kurniawati, Fitrilawati, Yayah Yuliah, dan I Made Joni
 Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Padjadjaran Bandung
 Kampus Jatinangor, Sumedang 45363

Intisari

Dalam tulisan ini dilaporkan studi efek jenis pelarut pada sifat optik, morfologi permukaan dan koefisien *waveguide loss* α_{gw} dari pandu gelombang planar polimer MEH-PPV. Pandu gelombang planar dibuat dengan teknik *spin-coating* dari larutan polimer dengan pelarut toluen, kloroform dan THF. Hasil studi menunjukkan bahwa sifat optik dan morfologi permukaan film MEH-PPV dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan. Film dengan pelarut toluen dan kloroform mempunyai morfologi permukaan yang homogen, akibatnya nilai α_{gw} lebih kecil dari 1 dB/cm. Sedangkan pelarut THF membentuk tekstur di permukaan film MEH-PPV karena agregasi rantai polimer, sehingga nilai α_{gw} menjadi besar.

KATA KUNCI: pandu gelombang planar, MEH-PPV, agregat, koefisien *waveguide loss*

I. PENDAHULUAN

Pandu gelombang planar dari polimer merupakan bagian yang sangat penting dalam perkembangan teknologi fotonik seperti untuk *integrated optics* [1, 2], laser [3], LED [4], sel surya [5] dan divais optik nonlinier [6, 7]. Pandu gelombang planar sangat cocok dikembangkan untuk *integrated optics* (IO), karena mudah difabrikasi dan dapat diintegrasikan dengan komponen optik yang lain. Untuk aplikasi pandu gelombang planar, terdapat persyaratan film tipis yang sangat berkaitan dengan kualitas optik. Kualitas film tipis yang dinyatakan dengan *optical loss* [8] akan menentukan kinerja dari piranti yang dibuat. Film tipis untuk pandu gelombang planar harus transparan, mempunyai indeks bias dan ketebalan yang homogen, mempunyai permukaan yang halus serta memiliki koefisien *waveguide loss* $\alpha_{gw} < 1$ dB/cm. Mendapatkan film tipis yang berkualitas baik merupakan kendala utama untuk aplikasi, sehingga banyak upaya yang dilakukan berkaitan dengan hal tersebut [9–11].

Salah satu metoda pembuatan film tipis polimer yang banyak dipakai adalah *spin-coating* [8]. Pada metoda tersebut terdapat beberapa parameter yang dapat dikontrol antara lain jenis pelarut, konsentrasi larutan, temperatur dan kecepatan serta waktu rotasi. Ketebalan, kerataan atau morfologi permukaan film yang dihasilkan ditentukan oleh pemilihan parameter tersebut. Walaupun *spin-coating* sangat umum digunakan, namun proses *spin-coating* masih belum dipahami secara terinci karena sangat kompleks. Dalam eksperimen, seringkali digunakan hubungan empiris antara parameter-parameter *spin-coating* untuk memperoleh sifat-sifat film tipis yang dihasilkan. Namun, hal itu hanya terbatas pada sis-

tem polimer-pelarut tertentu, dimana informasi yang berkaitan dengan polimer dan interaksi antara polimer dan pelarut masih terbatas.

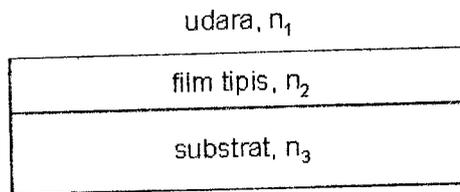
Polimer terkonjugasi poli(p-fenilenvinilen) (PPV) dan turunannya merupakan polimer yang banyak dikaji karena memiliki sifat semikonduktor, luminesensi dan optik non-linier [3–5, 7]. Khususnya, poli[2-metoksi-5-(2'-etilheksiloksi)-1,4-fenilenvinilen] (MEH-PPV) sering digunakan sebagai model material untuk memperoleh pemahaman dasar dari fotofisik polimer terkonjugasi [12, 13]. Polimer MEH-PPV mudah larut dalam pelarut organik biasa dan dapat dibuat dalam bentuk film dengan teknik *spin-coating*.

Dalam studi ini, dilakukan fabrikasi pandu gelombang planar dari polimer terkonjugasi MEH-PPV dengan teknik *spin-coating* dari larutan dengan tiga jenis pelarut yang berbeda, yaitu toluen, kloroform dan tetrahidrofurane (THF). Ketiga jenis larutan ini merupakan pelarut yang umum digunakan sebagai pelarut MEH-PPV dalam pembuatan film tipis untuk berbagai aplikasi piranti-piranti optoelektronik. Tujuan studi ini adalah untuk mengkaji pengaruh jenis pelarut terhadap absorptansi, morfologi permukaan dan koefisien *waveguide loss* dari pandu gelombang planar polimer MEH-PPV. Dalam studi ini, ditunjukkan bahwa jenis pelarut menentukan sifat-sifat optik, morfologi permukaan dan koefisien *waveguide loss* pandu gelombang planar MEH-PPV yang dihasilkan.

II. DASAR TEORI

Pandu gelombang planar merupakan struktur dasar dari *integrated optics* (IO), yang berfungsi sebagai *optoboard* tempat dibangunnya komponen-komponen optik yang lain, seperti *switches*, *optical modulator*, *coupler*. Pandu gelombang planar terdiri dari film tipis (indeks bias n_2) yang terletak di an-

*E-MAIL: bahtiar.ayi@gmail.com



Gambar 1: Pandu gelombang planar yang terdiri dari udara, film tipis dan substrat

tara substrat (n_3) dan udara (n_1), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Agar cahaya dapat merambat di dalam pandu gelombang tersebut, maka selain persyaratan $n_2 > n_3 > n_1$ juga terdapat persyaratan ketebalan minimum.

Salah satu parameter krusial yang menentukan apakah suatu material dapat digunakan untuk aplikasi pandu gelombang planar atau tidak adalah koefisien *waveguide loss* (α_{gw}). Ada tiga mekanisme utama yang mempengaruhi nilai α_{gw} , yaitu: (1). absorpsi cahaya oleh vibrasi molekul-molekul seperti C-H, O-H dan C=O di dalam film, (2). hamburan yang diakibatkan oleh ketidaksempurnaan film, variasi kerapatan, impuritas, cacat di dalam pandu gelombang, dan (3). hamburan permukaan oleh ketidakrataan permukaan film. Mekanisme pertama dan kedua sangat bergantung pada jenis dan teknik pembuatan material. Sedangkan mekanisme ketiga bergantung pada teknik pembuatan pandu gelombang planar. Kerugian-kerugian akibat hamburan permukaan dinyatakan sebagai koefisien *waveguide loss*, α_{gw} [14]:

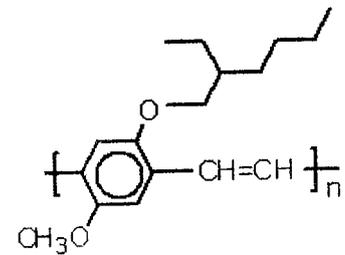
$$\alpha_{gw} = \frac{A^2}{2} \left(\frac{\cos^3 \theta_m}{\sin \theta_m} \right) \left[\frac{1}{d + \frac{1}{p} + \frac{1}{q}} \right] \quad (1)$$

$$A = \frac{4\pi}{\lambda} (\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2)^{1/2} \quad (2)$$

dengan λ adalah panjang gelombang cahaya, d adalah ketebalan pandu gelombang (film tipis), θ_m adalah sudut datang cahaya. Besaran σ_{23} dan σ_{12} adalah variasi ketidakrataan permukaan film tipis pada batas film-substrat dan film-udara. Konstanta p dan q adalah konstanta-konstanta yang berkaitan dengan perbedaan indeks bias udara, indeks bias film tipis dan indeks bias substrat [15]. Dari Pers.1 dan Pers.2, tampak bahwa untuk meminimalisasi koefisien *waveguide loss*, kerataan dan morfologi permukaan film harus dibuat homogen sehingga nilai σ_{12} menjadi minimum. Hal ini dapat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter-parameter fabrikasi film tipis [16]. Disamping itu, hasil studi terbaru menunjukkan bahwa nilai α_{gw} dipengaruhi oleh orientasi rantai polimer atau agregat dalam film tipis [17].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Material polimer terkonjugasi yang digunakan adalah MEH-PPV yang dibeli dari *Sigma Aldrich* dengan berat molekul $M_n = 40.000- 70.000$ g/mol. Struktur kimia MEH-PPV ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2: Struktur kimia polimer MEH-PPV

Polimer dilarutkan didalam pelarut kloroform (JT. Baker toluen (JT. Baker) dan THF (Merck GmbH) masing-masing dengan konsentrasi 0,3%. Konsentrasi ini dipilih agar film yang dibuat mempunyai ketebalan minimum dari pandu gelombang planar MEH-PPV (500 nm). Larutan diaduk sampai tampak bening dan homogen, kemudian larutan dibuat film tipis atau pandu gelombang dengan teknik *spin-coating* (*home made*), di mana kecepatan putaran diatur oleh tegangan listrik. Film tipis yang dihasilkan kemudian disimpan didalam vakum oven selama 2 jam dengan temperatur 50°C untuk menghilangkan sisa-sisa pelarut.

Absorbansi larutan dan film tipis MEH-PPV diukur dengan spektroskopi UV-Vis *double beam spectrometer* (Shimadzu) di Departemen Kimia ITB. Morfologi permukaan film diukur dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Departemen Teknik Mesin ITB. Ukuran sampel film yang digunakan adalah 1,2 x 1,2 cm² dengan perbesaran hingga 2500 kali.

Pengukuran koefisien *waveguide loss* α_{gw} dari pandu gelombang planar MEH-PPV dilakukan dengan teknik prisma kopler, di Laboratorium Fisika Material UNPAD (*home made*). Set-up prisma kopler ditunjukkan pada Gambar 3. Cahaya Laser dengan panjang gelombang 1064 nm difokuskan dengan lensa L_1 ($f = 20$ cm) ke dalam prisma (P) yang impitkan ke dalam pandu gelombang planar. Dengan mengatur sudut cahaya datang, maka cahaya akan terkopel ke dalam pandu gelombang planar. Cahaya yang terhambur oleh permukaan pandu gelombang difokuskan dengan lensa L_2 ($f = 50$ cm) dan dicitrakan ke *diode array* silikon yang kemudian ditampilkan dalam komputer.

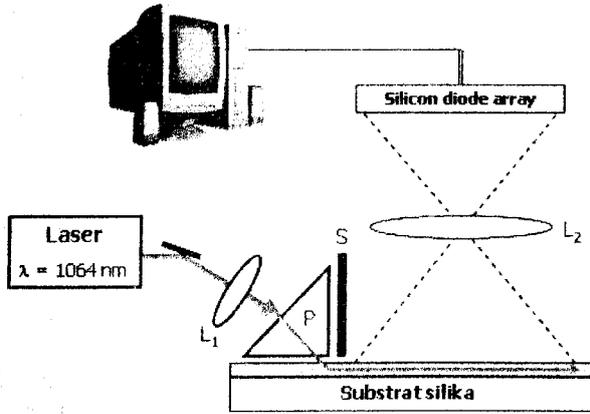
Intensitas cahaya yang terhambur $I(x)$ kemudian diukur sebagai fungsi dari jarak perambatan cahaya (x) dan koefisien *waveguide loss* dihitung dengan persamaan :

$$\alpha_{gw} [dB/cm] = \frac{10}{x} \log (I(x))$$

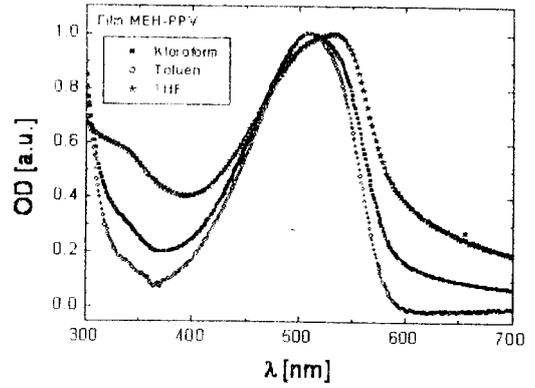
dengan x adalah jarak perambatan cahaya dalam pandu gelombang dan $I(x)$ adalah intensitas cahaya sepanjang jarak perambatan- x .

IV. HASIL DAN DISKUSI

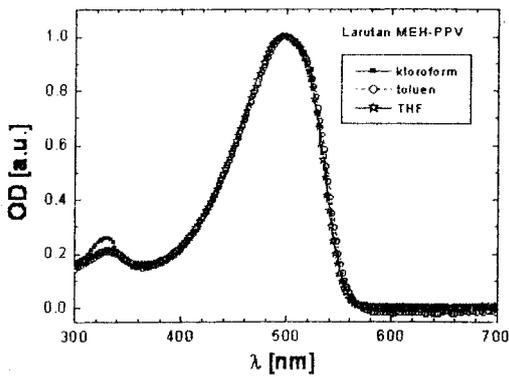
Spektra UV-Vis larutan MEH-PPV ketiga jenis pelarut yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 4. Tampak bahwa ketiga jenis larutan memiliki spektrum absorpsi yang sama, di r



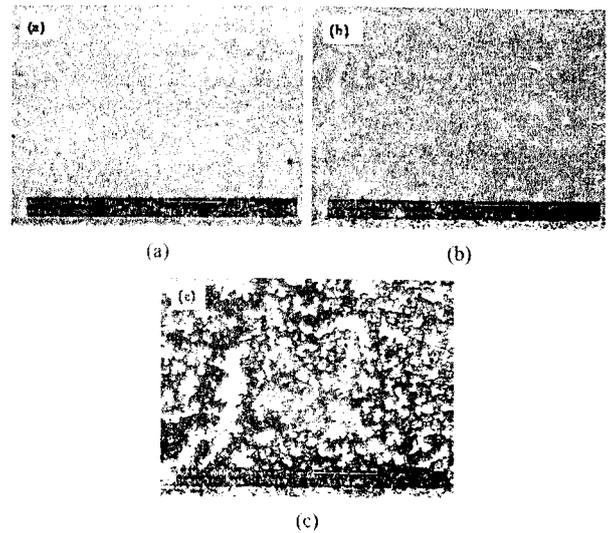
Gambar 3: Susunan eksperimen untuk pengukuran *waveguide loss coefficient* dari pandu gelombang planar.



Gambar 5: Spektra UV-Vis film tipis MEH-PPV dengan pelarut kloroform, toluen, dan THF



Gambar 4: Spektra UV-Vis larutan polimer MEH-PPV dalam pelarut kloroform, toluen, dan THF



Gambar 6: Foto SEM permukaan film tipis MEH-PPV yang di *spin-coating* dari larutan konsentrasi 0,3 % dengan pelarut (a). kloroform, (b). toluen, dan (c). THF

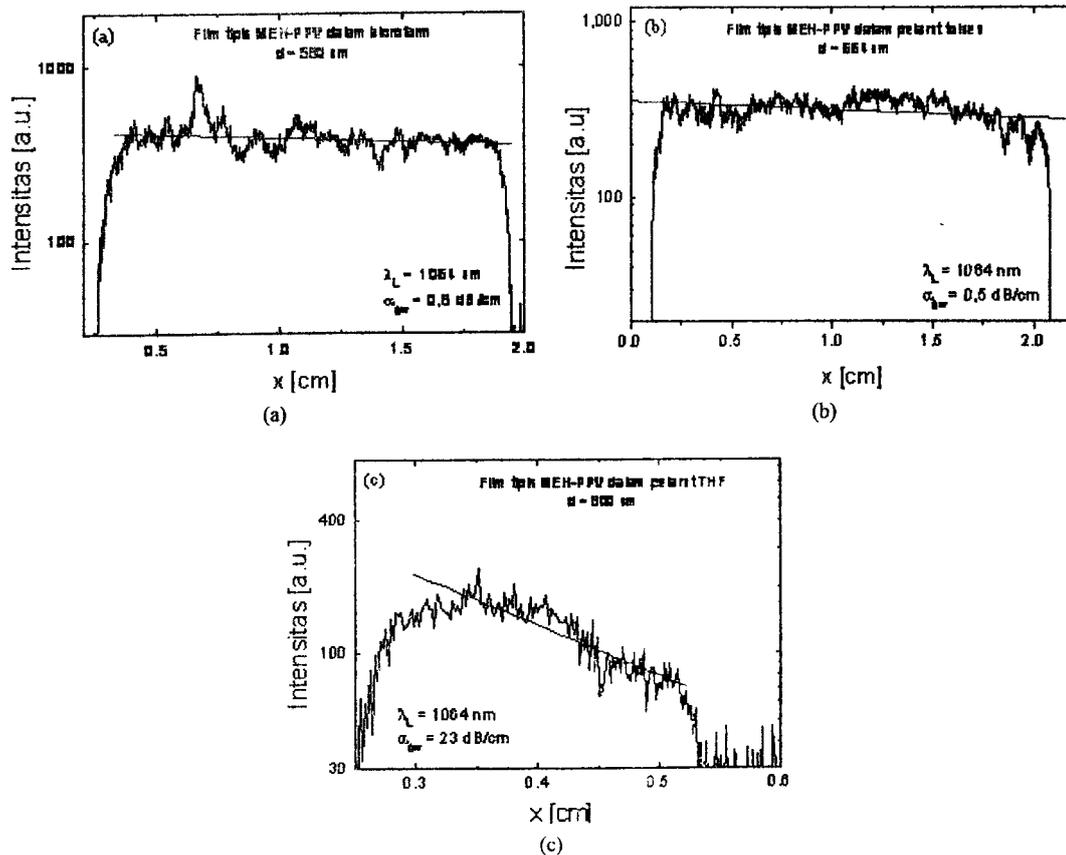
spektrum terdiri dari superposisi dari absorpsi yang tidak homogen dari panjang konjugasi yang berbeda. Hal ini berarti rantai polimer membentuk konformasi yang sama untuk ketiga jenis polimer. Dari pengamatan larutan yang homogen dan transparan, secara kuantitatif dapat dikatakan bahwa rantai polimer membentuk konformasi yang terbuka. Diperlukan pengukuran dengan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS) untuk mengetahui jenis konformasi rantai polimer secara kualitatif dengan menghitung jari-jari hidrodinamik dari rantai polimer dalam larutan.

Gambar 5 menunjukkan spektra UV-Vis film tipis MEH-PPV yang di *spin-coating* dari ketiga jenis larutan yang berbeda. Tampak jelas bahwa ketiga jenis pelarut menghasilkan respon optik yang berbeda. Pelarut kloroform dan toluen menghasilkan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) yang sama yaitu pada 511 nm, sedangkan λ_{max} film dari pelarut THF bergeser pada panjang gelombang yang lebih panjang (532 nm). Pergeseran nilai λ_{max} ke arah panjang gelombang yang lebih besar dari larutan ke film, menunjukkan bahwa orientasi rantai polimer di dalam film berbeda dengan didalam larutan. Rantairantai polimer di dalam film akan bertumpuk akibat dari proses *spin-coating*, sehingga membentuk agregat. Ag-

gregat adalah bertumpuknya elektron-elektron yang terdelokalisasi di keadaan dasar (*ground states*) dan keadaan tereksitasi (*excited states*), sehingga elektron-terdelokalisasi tidak hanya meliputi kromofor (rantai polimer) tunggal, melainkan meliputi seluruh segmen rantai polimer yang membentuk agregat. Akibatnya panjang polimer terkonjugasi menjadi lebih besar, sehingga λ_{max} bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar.

Nilai λ_{max} yang besar dalam film MEH-PPV yang dibuat dari larutan THF, menunjukkan bahwa agregat lebih banyak terbentuk dibandingkan dalam film yang dibuat dengan pelarut toluen dan kloroform. Terbentuknya agregat dalam film dari pelarut THF akan lebih tampak dalam foto SEM permukaan film. Hasil foto SEM permukaan film tipis MEH-PPV yang dibuat dengan pelarut toluen, kloroform dan THF diperlihatkan pada Gambar 6. Tampak bahwa jenis pelarut mempengaruhi morfologi permukaan film.

Film tipis yang di *spin-coating* dari larutan MEH-PPV de-



Gambar 7: Hasil pengukuran *waveguide loss* pandu gelombang planar MEH-PPV yang dibuat dengan pelarut kloroform, toluen dan THF pada panjang gelombang 1064 nm.

ngan pelarut kloroform dan toluen memiliki morfologi permukaan yang homogen, sedangkan untuk pelarut THF menunjukkan tekstur yang berbentuk pulau-pulau, akibat terbentuknya agregat. Hasil SEM ini memperkuat hasil spektra UV-Vis film tipis, dimana agregat terbentuk dalam film yang dibuat dari larutan MEH-PPV dengan pelarut THF (max yang lebih besar). Perbedaan morfologi permukaan film tipis MEH-PPV yang dibuat dengan pelarut yang berbeda akan membawa pengaruh yang cukup signifikan terhadap koefisien *waveguide loss*. Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran *waveguide loss* dari pandu gelombang planar MEH-PPV yang dibuat dengan pelarut yang berbeda.

Tampak bahwa ketiga jenis pelarut yaitu kloroform, toluen dan THF menghasilkan nilai α_{gw} yang berbeda. Perbedaan nilai ini berkaitan erat dengan morfologi permukaan film yang berbeda. Film tipis yang dibuat dengan pelarut toluen dan kloroform menunjukkan nilai $\alpha_{gw} < 1 \text{ dB/cm}$, akibat dari morfologi permukaan yang homogen, sehingga hamburan cahaya dapat diminimalisasi. Sebaliknya, nilai α_{gw} pandu gelombang planar MEH-PPV yang dibuat dari pelarut THF sebesar 23 dB/cm diakibatkan oleh terbentuknya agregat di permukaan film, sehingga cahaya di dalam pandu gelombang banyak yang terhambur. Pemilihan jenis pelarut menentukan sifat optik dan morfologi permukaan film tipis serta nilai koefisien *waveguide loss* pandu gelombang planar MEH-PPV.

V. SIMPULAN

Jenis pelarut mempengaruhi sifat optik, morfologi permukaan film tipis dan koefisien *waveguide loss* dari pandu gelombang planar MEH-PPV. Pelarut kloroform dan toluen menghasilkan morfologi permukaan yang homogen dan $\alpha_{gw} < 1 \text{ dB/cm}$, sehingga cocok untuk aplikasi pandu gelombang planar. Sebaliknya, pelarut THF mengakibatkan pembentukan agregat di dalam film, sehingga cahaya akan banyak terhambur sepanjang arah perambatannya. Akibatnya, film ini tidak cocok untuk aplikasi pandu gelombang planar.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian Hibah Bersaing XIV ini sesuai dengan Surat Perintah Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 031/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007.

-
- [1] T.A. Skotheim, R.L. Elsenbaumer, and J.R. Reynolds, *Handbook of Conducting Polymers* (New York: Marcel Dekker, 1998).
- [2] S.J. Lalama, J.E. Sohn, and K.D. Singer, *Integrated Optical Circuit Engineering II SPIE 578*, 168, (1985).
- [3] M. D. McGehee and A.J. Heeger, *Adv. Mater.* **12**, 1655 (2000).
- [4] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Holmes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Loegdlund, and W. R. Salaneck, *Nature* **397**, 121 (1999).
- [5] C.J. Brabec, N.S. Sariciftci, and J.C. Hummelen, *Adv. Mater.* **12**, 1655 (2001).
- [6] G.I. Stegeman and W.E. Torruellas, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **354**, 745 (1996).
- [7] M. A. Bader, G. Marowsky, A. Bahtiar, K. Koynov, C. Bubeck, H. Tillmann, and H.-H. Hrhold, S. Pereira, *J. Opt. Soc. Am. B* **19**, 2250 (2002).
- [8] W.R. Holland, in *Polymers for Lightwave and Integrated Optics*, edited by L.A. Hornak (New York: Marcel Dekker, 1992)
- [9] M. Allegrini, A. Arena, M. Labardi, G. Martino, R. Girlanda, C. Pace, S. Patane, G. Saitta, and S. Savasta, *Appl. Surf. Sci.* **142**, 603 (1999).
- [10] L. L. Spangler, J.M. Torkelson, and J.S. Royal, *Polym. Eng. Sci.* **30**, 644 (1990)
- [11] R. A. Pethrick, and K. E. Rankin, *J. Mater. Sci-Mater. El.* **10**, 141 (1999).
- [12] J. C. Scott, J. H. Kaufman, P. J. Brock, R. DiPietro, J. Salen, and J. A. Gottia, *J. Appl. Phys.* **79**, 2745 (1996)
- [13] B. Schwartz, *Annu. Rev. Phys. Chem.* **54**, 141 (2003)
- [14] P. K. Tien, *Appl. Opt.* **10**, 2395 (1971)
- [15] P. Yeh, *Optical Waves in Layered Media* (John Wiley & Sons Inc., 1988)
- [16] F. Fitrilawati, M.O. Tjia, J. Ziegler, and C. Bubeck, *Proc. SPIE* **3896**, 697 (1999)
- [17] K. Koynov, A. Bahtiar, T. Ahn, H.-H. Hrhold, and C. Bubeck, *Macromol.* **39**, 8692 (2006)