

**Fabrikasi Film Hibrid Anorganik-Organik
untuk Optik Pemandu Gelombang**

Karya Tulis Ilmiah

**Oleh:
Rustaman**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PADJADJARAN
MEI 2008**

Fabrikasi Film Hibrid Anorganik-Organik Optik untuk Pemandu Gelombang

Karya Tulis Ilmiah

**Oleh:
Rustaman**

Mengetahui/Menyetujui:
Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unpad,

Dr. Unang Supratman, MS.
NIP. 131 929 830

Daftar Isi

Daftar Isi	i
Abstrak	1
1. Pendahuluan	1
2. Eksperimen.....	3
3. Hasil	4
3.1. Karakterisasi film	4
3.2. Sifat optik film hibrid anorganik-organik	5
4. Pembahasan.....	8
5. Kesimpulan	12
6. Daftar Pustaka	12

Fabrikasi Film Hibrid Anorganik-Organik untuk Optik Pemandu Gelombang

Abstrak

Lapisan pemandu dan lapisan penyangga hibrid anorganik-organik disintesis melalui proses sol-gel. Larutan 3-(trimetoksisilil) propilmetakrilat dan tetraetilortosilikat yang dikatalisis oleh asam digunakan sebagai prekursor untuk menghasilkan film tebal dengan cara *spin-coating*. Pemasukkan gugus fungsi yang sensitif terhadap sinar UV mengarah pada fabrikasi lapisan pemandu yang dapat dipolakan dengan foto. Film yang dipola dengan resolusi tinggi dengan tebal garis 8 μm diperoleh menggunakan foto-litografi konvensional. Selanjutnya, jumlah feniltrimetoksisilana ditambahkan bervariasi untuk mengontrol indeks bias lapisan penyangga. Variasi indeks bias dan perubahan struktur film hibrid anorganik-organik sebagai fungsi kondisi pemrosesan dianalisis menggunakan teknik kopling prisma dan spektrometer FT-IR. Pada penelitian ini telah dihasilkan film yang transparan secara optik di atas 500 nm dengan kehilangan propagasi masing-masing 0,84 dan 1,49 dB/cm pada 1310 dan 1550 nm.

Kata kunci: Film hibrid anorganik-organik, optik pemandu gelombang, proses sol-gel, tetraetilortosilikat, 3-(trimetoksisilil) propilmetakrilat, *spin-coating*.

1. Pendahuluan

Pemasukan berbagai molekul organik yang bersifat foto-aktif ke dalam matriks anorganik dapat memperbaiki sifat yang diinginkan untuk penggunaan optik seperti laser warna keadaan padat, optik non-linier dan pandu gelombang optik. Dari semua ini, pandu gelombang optik merupakan subjek penelitian selama lebih dari satu dekade terakhir karena menawarkan banyak harapan sebagai penghubung optik (*optical interconnect*) yang digunakan dalam jaringan telekomunikasi, jaringan lokal (LAN) dan jaringan luas (WAN), sensor, dan peralatan elektrooptik lainnya. Material optik anorganik memainkan peranan penting untuk mengontrol berbagai fungsi dalam material hibrid. Teristimewa, gelas dikenal sebagai fasa matriks yang sesuai karena ketransparanannya yang tinggi, stabil terhadap kalor, dan secara kimia bersifat *inert*. Berbagai teknik seperti hidrolisis nyala (*flame hydrolysis*) [1], dan deposisi uap kimia (*chemical vapor deposition*) [2] telah diperkenalkan untuk fabrikasi material berbasis gelas.

Akan tetapi, karena metode ini memerlukan pemrosesan pada suhu tinggi di atas 250°C, fasa-fasa organik yang ada di dalamnya terurai.

Di pihak lain, suatu proses sol-gel hibrid anorganik-organik memungkinkan rute sintesis suhu rendah untuk material hibrid berbasis gelas, dapat memasukan jejaring polimer organik ke dalam jejaring gelas anorganik. Material hibrid anorganik-organik yang dibuat dengan proses sol-gel dapat dibagi menjadi dua kelas [3-6]. Material hibrid yang hanya memiliki ikatan kimia lemah antara jejaring anorganik dan organik disebut material hibrid kelas I, sedangkan yang ikatannya kuat disebut material hibrid kelas II. Pada hibrid kelas I, modifikasi organik terhadap matriks anorganik siloksan terjadi dalam bentuk dispersi molekul organik, atau saling-tembus antar jejaring organik dengan ikatan yang lemah terhadap matriks anorganik. Akan tetapi pada hibrid kelas II, molekul atau polimer organik dapat secara langsung terikat pada jejaring anorganik melalui ikatan Si-C, dan material ini diberi nama silikat termodifikasi secara organik (ORMOSIL) [7,8].

ORMOSIL untuk pandu gelombang biasanya tersusun atas pembentuk jejaring gelas anorganik, satuan organik yang dapat mengontrol indeks bias, dan unit organik *photo-curable*. Komponen organik seperti hidrokarbon tak jenuh atau epoksida yang ada dalam matriks gelas dapat dipolimerisasi dengan iluminasi sinar UV selama proses litografi konvensional [9-12]. Ini menginduksi penurunan kelarutan bagian yang diiradiasi pada beberapa pelarut, yang memungkinkan pembentukan pola dengan proses *etching* basah sederhana. Pemasukan molekul organik yang memiliki kebolehpolaran elektron yang besar juga mampu mengontrol indeks bias antara lapisan penyangga dan lapisan pemandu dengan memvariasikan konsentrasi molekul organik [13].

Pada penelitian ini, telah dikembangkan sistem material ORMOSIL baru untuk sirkuit gelombang cahaya planar. Film-film yang dapat dipolakan dengan foto, yang memiliki kehilangan optis (*optical loss*) yang rendah, dibuat sebagai lapisan pemandu. Perubahan indeks bias yang bergantung pada kondisi pemrosesan, seperti dosis iluminasi UV dan waktu perlakuan-kalor, telah dipelajari untuk memahami evolusi struktur material ORMOSIL. Lapisan penyangga yang sesuai mengandung feniltrimetilsilana yang dengannya indeks

bias dapat dikontrol dengan tepat. Penggunaan pasangan film ORMOSIL seperti ini memungkinkan untuk menghasilkan devais pandu gelombang yang terdefinisi dengan baik dengan kehilangan optik yang rendah.

2. Eksperimen

Larutan prekursor untuk lapisan pamandu dibuat dari kombinasi antara 3-(trimetoksisilil) propilmetakrilat $[\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3]$ (MAPTMS, Aldrich, kemurnian 98%) dan tetraetilortosilikat $[\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4]$ (TEOS, Aldrich, kemurnian 98%). MAPTMS diprahidrolisis dengan 0,75 molar ekuivalen H_2O dengan katalis 0,01M HCl. TEOS dan asam metakrilat $[\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{H}]$ (MMA, Aldrich, kemurnian 98%) dimasukkan ke dalam MAPTMS yang sudah diprahidrolisis dengan rasio molar MAPTMS:TEOS:MMA = 8:2:0,5. Kemudian ditambahkan lagi air untuk menyempurnakan hidrolisis dan kondensasi. Rasio molar total air yang terdeionisasi terhadap prekursor campuran MAPTMS dan TEOS adalah 1,5. Setelah 30 menit pengadukan, ditambahkan foto-inisiator 1-hidroksisikloheksilfenilketon $[\text{HOC}_6\text{H}_{10}\text{COC}_6\text{H}_5]$ (IRGACURE 184, CIBA, Aldrich, kemurnian 99%) dengan rasio molar campuran-prekursor: IRGACURE = 49:1 dan reaksi berjalan selama 24 jam.

Larutan prekursor untuk lapisan penyangga dibuat dari kombinasi metiltrietoksisilan $[\text{CH}_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3]$ (MTES, Aldrich, kemurnian 99%), feniltrimetoksisilan $[\text{C}_6\text{H}_5\text{Si}(\text{OCH}_3)_3]$ (PhTMOS, Aldrich, kemurnian 97%), dan TEOS. Prekursor ini dicampur dengan rasio molar PhTMOS:MTES:TEOS = $x:(80-x):20$ di mana x berarti fraksi mol PhTMOS. Sebanyak 0,01M HCl digunakan sebagai katalis dan air yang ada dalam 0,01M katalis HCl dimasukkan menjadi setengah stoikiometri agar hidrolisis sempurna. Setelah bereaksi selama 5 jam, pelarut secara parsial dihilangkan untuk fabrikasi film tebal dengan ketebalan lebih dari 20 μm .

Semua reaksi dilakukan pada 25°C dalam penangas air (*Isotemp 3013, Fisher Scientific*) dalam atmosfer nitrogen. Larutan yang dihasilkan disaring dengan filter membran 0,2 μm (PTFE, Advantec MFS). Untuk fabrikasi larutan penyangga, di-*spin-coating* pada substrat silikon pada 1000 rpm selama 40 detik, diikuti dengan

perlakuan panas (*heat-treatment*) pada 150°C selama 1 jam. Larutan pemandu di-*spin-coating* pada berbagai kondisi pelapisan (*coating*) dan lunak-bakar (*soft-baked*) pada suhu 80°C untuk menguapkan pelarut dan meningkatkan adhesi terhadap substrat. Untuk membuat pola, lapisan pemandu secara selektif diiradiasi dengan lampu UV (350 Watt Hg, $\lambda < 400 \mu\text{m}$ Midas System MD2-4000), dikembangkan dalam penangas propilenglikolmetileterasetat (PGMEA, Aldrich, kemurnian 99%), kemudian di-*post-backed* pada suhu 150°C.

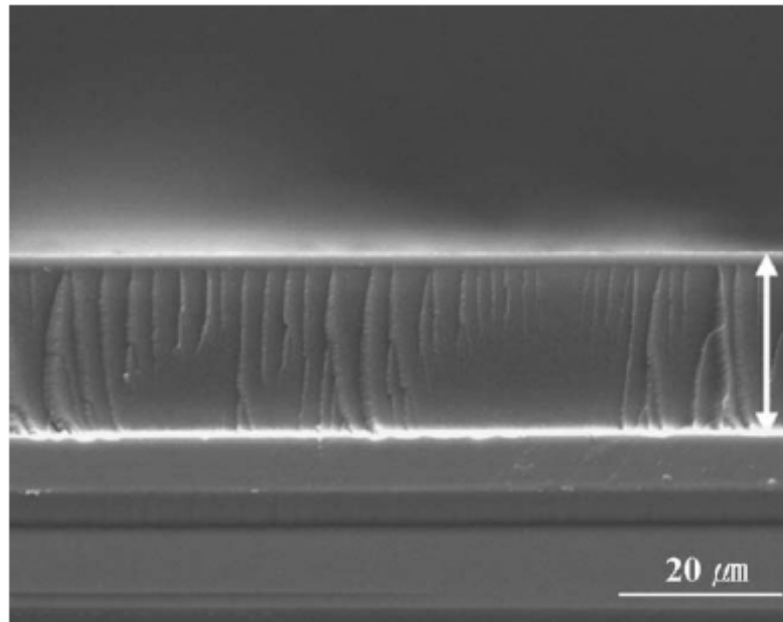
Indeks bias lapisan pemandu dan lapisan penyangga ditentukan dengan metode kopling prisma pada panjang gelombang (λ) 633, 1310, dan 1550 nm (Metricon Ellipsometrical 2010) dan spektrum absorpsi ditentukan dengan Spektrofotometer Inframerah Transformasi Fourier (FT-IR, Jasco) dari 400 sampai 4000 cm^{-1} . Ketebalan film dan struktur pola diperiksa menggunakan mikroskop scanning elektron emisi medan (FE-SEM, S-4200, Hitachi). Spektrum transmisi UV dari film diperoleh dengan spektrometer UV-Vis-NIR (Cary 5G, Varian) dan kehilangan propagasi (*propagation loss*) diukur dengan teknik kopling prisma yang digabungkan dengan metode *index matching oil* (SPA 4000, Sairon Technology) pada λ 1310 dan 1550 nm.

3. Hasil

3.1. Karakterisasi film

Sirkuit pandu gelombang optik planar terdiri atas struktur neka-lapis (*multi-layered*) di mana pada setiap lapis adalah film yang relatif tebal dengan ketebalan 5-25 μm . Karena celah-celah dapat terbentuk dengan adanya gaya kapiler selama proses pengeringan, hal ini sulit dilakukan pada proses sol-gel konvensional untuk menghasilkan film tebal seperti yang diharapkan. Sebaliknya untuk material hibrid anorganik-organik, film tebal dapat dengan mudah didepositkan tanpa celah apapun karena komponen organik memberikan fleksibilitas dan plastisitas terhadap matriks anorganik. Ketebalan lapisan pemandu *spin-cast* diukur setelah pencahayaan dengan dosis UV 25 J/cm^2 dan *post-baking* pada 150°C selama 2 jam. Terjadi kenaikan ketebalan film dari 6 menjadi 8,7 μm terhadap penurunan

kecepatan spin dari 2000 sampai 1000 rpm. Ketebalan film yang dihasilkan sangat seragam dan lembut dengan kekasaran permukaan 0,5 nm RMS. Variasi ketebalan dari sisi-ke-pusat lebih dari 4-in. Ketebalan wafer adalah $\pm 0,5$ nm. Untuk lapisan penyangga, film rata yang lebih tebal harus dilapiskan pada lapisan pemandu yang berpola. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1, lapisan penyangga hibrid anorganik-organik yang mengandung PhTMOS yang dibuat dengan *spin coating* adalah mikrostruktur padat seragam yang bebas retakan (*crack*) dan lubang (*pinhole*). *Spin coating* tunggal menghasilkan film dengan ketebalan 22 μm , yang terikat dengan baik pada substrat Si tanpa celah atau pori.



Gambar 1. Foto SEM yang memperlihatkan *cross-section* pada lapisan penyangga [19]

3.2. Sifat optik film hibrid anorganik-organik

Pengontrolan indeks bias yang tepat untuk material pandu gelombang optik merupakan hal yang sangat penting. Indeks bias material tidak hanya dipengaruhi oleh kebolehpolaran elektron dari atom atau ion konstituen tetapi juga oleh strukturnya. Untuk material hibrid anorganik-organik, kondisi-kondisi pemrosesan film, seperti suhu dan lamanya perlakuan kalor dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap struktur yang dihasilkan. Indeks bias lapisan pemandu diukur

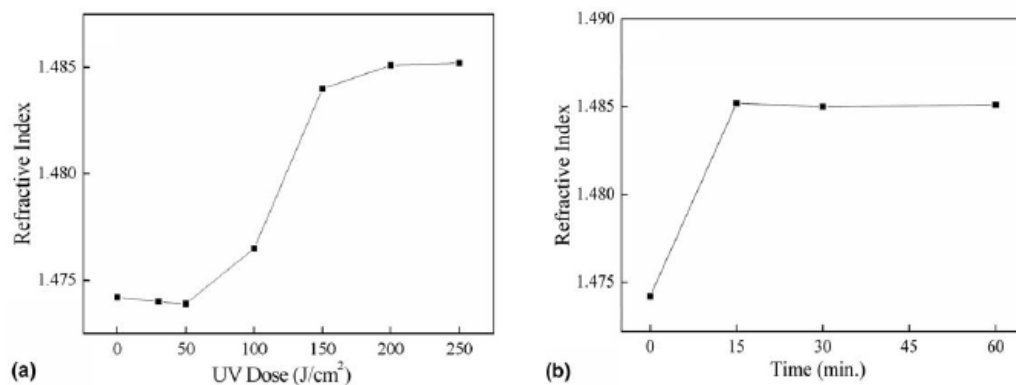
pada rentang cahaya tampak dengan dosis pencahayaan UV 25 J/cm^2 dan *post-baked* pada 150°C selama 2 jam. Harga-harga hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 1. Perbedaan kecil teramati pada harga indeks bias, baik untuk *transverse electric mode* (TE mode) maupun untuk *transverse magnetic mode* (TM mode).

Tabel 1. Indeks bias lapisan pemandu yang diukur pada panjang gelombang yang berbeda [19].

	Wavelength		
	633 nm	1310 nm	1550 nm
TE mode	1.4849	1.4756	1.4728
TM mode	1.4845	1.4751	1.4722

^a The samples were exposed at 25 J/cm^2 and post-baked at 150°C for 2 h.

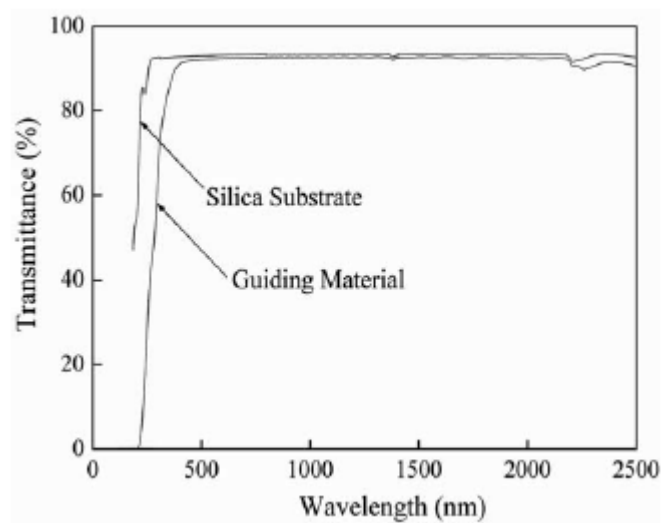
Pemolaan foto-litografi lapisan pemandu melibatkan iluminasi pada film *soft-baked spin-cast*. Prosedur iluminasi UV dapat menginduksi reaksi kimia tambahan yang mengarah pada densifikasi film dan mengakibatkan perubahan indeks bias.



Gambar 2. Variasi indeks bias lapisan pemandu sebagai fungsi (a) pencahayaan dengan dosis UV yang berbeda (b) post-baking pada berbagai durasi pada suhu 150°C . Indeks bias diukur pada $\lambda = 633 \text{ nm}$ [19].

Gambar 2(a), memperlihatkan perubahan indeks bias pada lapisan-lapisan pemandu yang diekspos dengan dosis sinar UV yang berbeda. Jika dosis UV dinaikkan, indeks bias naik dari 1,4742 sampai 1,4852. Pada dosis UV lebih dari 200 J/cm^2 indeks bias hampir tetap, yang menunjukkan bahwa semua reaksi

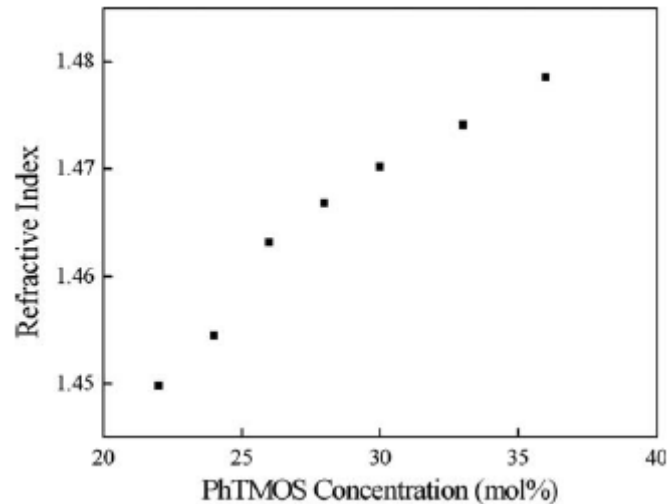
sempurna. Perlakuan kalor dapat juga memberikan perubahan struktur yang disebabkan oleh reaksi kimia seperti reaksi hidrolisis dan kondensasi. Gambar 2(b), memperlihatkan variasi indeks bias lapisan pemandu yang di-*post-baked* pada 150°C pada berbagai durasi. Teramati bahwa indeks bias naik dari 1,4742 sampai 1,4851 setelah 15 menit *post-baking* kemudian relatif tetap pada perlakuan kalor yang lebih lama. Hal ini memperlihatkan bahwa reaksi yang diinduksi secara termal dengan cepat tercapai. Material pemandu hibrid anorganik-organik juga harus transparan dan tidak berwarna. Spektrum transmisi lapisan pemandu diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum absorpsi UV-Vis material pemandu [19].

Sampel dibuat dengan cara *spin-coating* pada gelas yang diikuti oleh perlakuan kalor pada suhu 150°C selama 2 jam. Transmittan film bersama dengan substratnya memiliki ketinggian yang sama dengan substrat tanpa film, yang menunjukkan bahwa film yang dibuat sangat transparan pada rentang 550 sampai 2500 nm. Karena lapisan pemandu yang dibuat pada penelitian ini berdasarkan reaksi sol-gel antar silikon alkoksida, matriks utama tersusun atas silikon yang dikenal sebagai material transparan. Penurunan transmittan di bawah 550 nm dipercaya sebagai akibat dari *scattering loss*, karena secara lokal permukaannya tidak mulus dan terjadi fluktuasi indeks bias yang disebabkan oleh reaksi sol-gel yang tidak seragam [14].

Segera setelah indeks bias lapisan pemandu yang dipolakan dengan fotolitografi ditentukan, diperlukan lapisan penyangga dengan indeks bias yang dapat divariasikan agar memiliki refleksi total yang terkungkung dalam lapisan pemandu gelombang. Gambar 4 memperlihatkan variasi indeks bias yang diukur pada $\lambda = 1550$ nm sebagai fungsi konsentrasi PhTMOS yang ditambahkan, untuk lapisan penyangga yang dimatangkan pada suhu 150°C selama 1 jam.



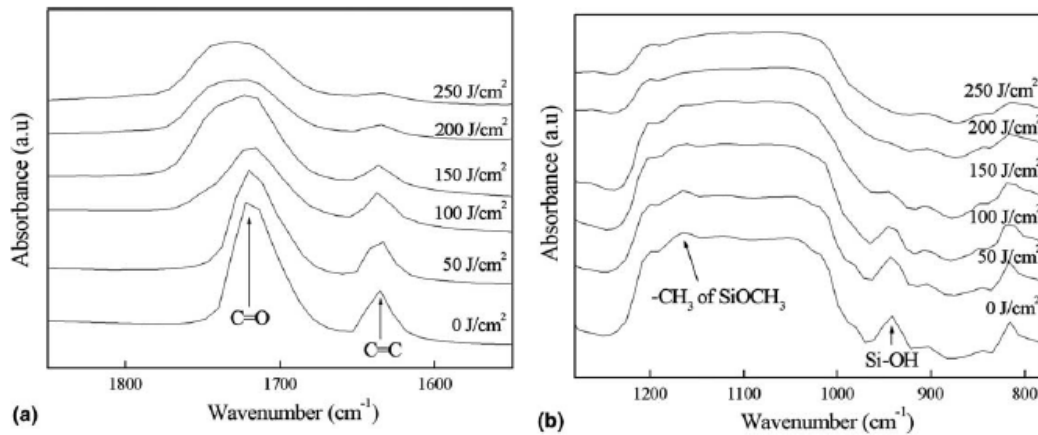
Gambar 4. Variasi indeks bias lapisan bufer sebagai fungsi konsentrasi PhTMOS [19].

Indeks biasnya merupakan fungsi yang hampir linier dari konsentrasi PhTMOS pada nilai antara 22 dan 36%, dan kenaikannya adalah 0,002 per 1 mol% PhTMOS. Penambahan material dengan kebolehpolaran elektron yang tinggi secara efektif menaikkan indeks bias. Gugus fenil memiliki kebolehpolaran elektron yang tinggi karena awan elektronnya dalam orbital ikatan- π dengan mudah terdistorsi. Dalam hal ini, PhTMOS merupakan material kandidat yang baik untuk mengontrol indeks bias dalam material yang berbasis silika [15,16].

4. Pembahasan

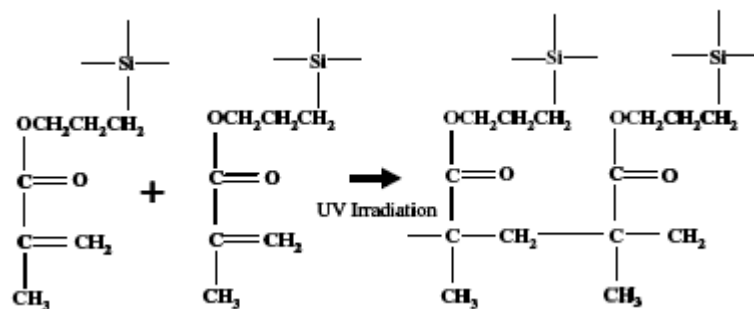
Lapisan pemandu *as-spin cast* mengalami variasi indeks bias yang signifikan terhadap iluminasi UV dan *post-baking*. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antara indeks bias film hibrid dengan struktur molekulnya yang bergantung pada kondisi pemrosesan, telah diukur spektrum

FTIR. Gambar 5a memperlihatkan spektrum absorpsi FT-IR lapisan pemandu yang diiluminasi dengan dosis UV yang berbeda-beda. Film-film ini tidak di-*post-baked* untuk mengisolasi pengaruh variasi struktur yang disebabkan oleh induksi termal.



Gambar 5. Spektrum absorpsi FT-IR lapisan pemandu yang diekspos dengan dosis UV yang berbeda-beda, (a) antara 1550 dan 1850 cm^{-1} (b) antara 780 dan 1280 cm^{-1} . Pengukuran dilakukan tanpa *post-baking*. [19]

Ada puncak-puncak absorpsi yang teramati karena gugus metakrilat yang ada pada MAPTMS. Pita absorpsi pada 1638 dan 1720 cm^{-1} disebabkan masing-masing oleh uluran C=C dari gugus metakrilat dan uluran C=O dari gugus metilmetakrilat [1]. Pengamatan ini memperkuat bahwa iradiasi UV menginduksi polimerisasi ikatan rangkap C=C yang ada dalam lapisan pemandu *spin-cast* yang secara skematik diperlihatkan pada Gambar 6.

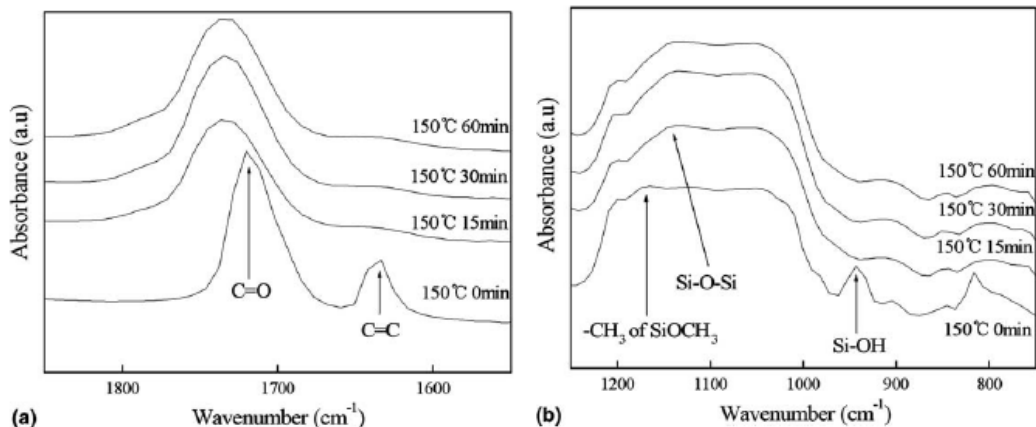


Gambar 6. Mekanisme foto-polimerisasi gugus metakrilat dalam prekursor MAPTMS. [19]

Karena dosis UV meningkat dari 50 sampai 200 J/cm^2 , intensitas puncak pita absorpsi pada 1638 cm^{-1} berkurang dan puncak akhirnya hilang pada dosis UV lebih dari 200 J/cm^2 . Gejala ini dapat dihubungkan dengan transformasi ikatan

C=C menjadi ikatan C-C yang menunjukkan bahwa cahaya UV memicu polimerisasi gugus-gugus metakrilat. Ketika dosis iluminasi UV lebih dari 200 J/cm^2 pada mana foto-polimerisasi dipercaya terjadi dengan sempurna, posisi puncak ikatan C=O juga bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar. Ini berarti bahwa ikatan C=O tidak terkonjugasi lagi karena ikatan rangkap C=C diikat-silang oleh perlakuan iradiasi UV.

Spektrum FT-IR yang memperlihatkan puncak-puncak absorpsi dari gugus metoksi (CH_3), siloksan (Si-O-Si), dan silanol (Si-OH) terlihat pada Gambar 5(b). Pita absorpsi pada $1168, 1139, \text{ dan } 944 \text{ cm}^{-1}$ masing-masing berasal dari vibrasi *rocking* Si-OCH_3 , uluran asimetri Si-O-Si dan uluran asimetri Si-OH [17,18]. Teramati bahwa intensitas gugus silanol dan gugus metoksi berkurang pada dosis UV yang melebihi 100 J/cm^2 dan akhirnya puncak tersebut hilang pada dosis UV lebih dari 200 J/cm^2 . Ini menunjukkan bahwa reaksi-reaksi sol-gel seperti hidrolisis dan kondensasi gugus metoksi dan silanol secara simultan terjadi selama iluminasi UV, dan reaksinya menjadi sempurna pada 200 J/cm^2 .



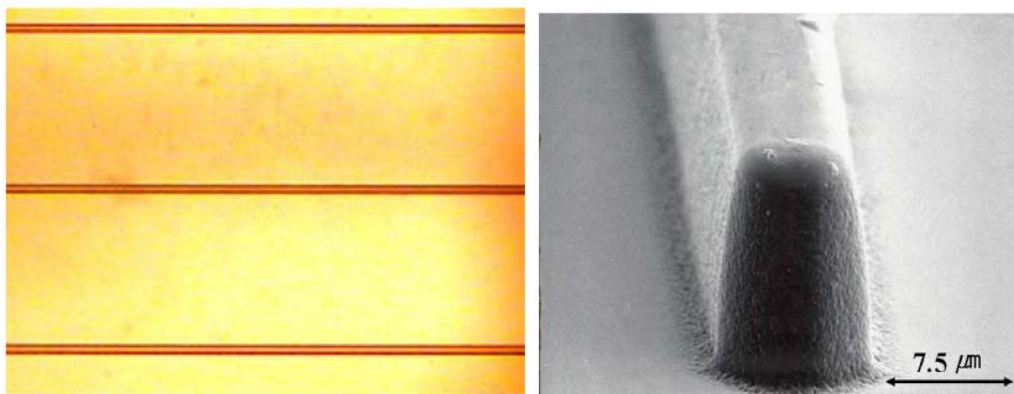
Gambar 7. Spektrum absorpsi FT-IR lapisan pemandu yang di-post-baked dengan berbagai durasi waktu pada suhu 150°C (a) antara 1550 dan 1850 cm^{-1} (b) antara 750 dan 1250 cm^{-1} . [19]

Gambar 7 memperlihatkan spektrum absorpsi FT-IR dari lapisan pemandu yang di-*post-baked* pada 150°C pada berbagai durasi. Sampel-sampel ini dibuat tanpa iluminasi UV untuk membedakan pengaruh termal dengan pengaruh cahaya UV terhadap perubahan struktur. Setelah *post-baking* selama 15 menit, puncak ikatan C=C hilang sempurna dan puncak ikatan C=O bergeser ke panjang gelombang yang lebih tinggi. Pengamatan ini berarti bahwa polimerisasi gugus

metakrilat juga dapat diinduksi secara termal, sehingga *post-baking* lebih dari 15 menit menyempurnakan reaksi polimerisasi. Pengamatan lebih lanjut bahwa puncak-puncak yang disebabkan oleh gugus $-CH_3$ dari $Si-OCH_3$ dan $Si-OH$ menghilang, dan intensitas puncak yang disebabkan oleh $Si-O-Si$ meningkat. Namun, puncak-puncak ini tidak berubah untuk film-film yang di-*post-baked* lebih dari 15 menit, yang menunjukkan bahwa reaksi sol-gel sudah berhenti.

Berdasarkan hasil FT-IR, peningkatan indeks bias lapisan pemandu yang diiradiasi pada rentang $50-200 \text{ J/cm}^2$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 disebabkan oleh densifikasi oleh foto-polimerisasi, sedangkan perubahan indeks bias pada dosis UV antara 100 dan 200 J/cm^2 berasal dari reaksi hidrolisis-kondensasi. Pada dosis UV lebih dari 200 J/cm^2 indeks biasanya mendekati konstan karena semua reaksi sudah selesai. Selain itu dipertimbangkan bahwa film yang mengalami densifikasi yang cepat melalui reaksi sol-gel dengan *post-baking* pada 150°C selesai dalam waktu 15 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(b).

Untuk mengkarakterisasi sifat kehilangan propagasi film pemandu, film dwilapis pemandu/penyangga dengan indeks bias terkontrol difabrikasi pada substrat silikon. Lapisan pemandu *pre-baked spin-cast* diiluminasi dengan lampu UV dengan intensitas 20 mW selama 25 menit melalui *masking* foto-litografi. Daerah yang tidak diekspos tidak mengalami reaksi apapun, sehingga dapat dengan mudah dilarutkan kembali (*redissolved*) dalam PGEMA membentuk struktur dengan pola yang baik, dengan struktur yang sama seperti pada *masking* foto-litografi. Gambar 8 memperlihatkan lapisan pemandu berpola dengan tebal garis $8 \mu\text{m}$ dengan sisi yang relatif tajam.



Gambar 8. Mikrograf hasil SEM lapisan pemandu yang sudah dipolakan [19].

Lapisan penyangga dengan komposisi rasio molar PhTMOS:MTES:TEOS = 26:54:20 di-*spin-cast* di atas lapisan pemandu berpola. Struktur dwilapis diberikan perlakuan termal pada 150°C selama 2 jam sebelum pengukuran kehilangan optik. Perbedaan indeks bias antara lapisan pemandu dengan lapisan penyangga adalah 0,0096 pada $\lambda=1550$ nm. Hasil pengukuran propagasi masing-masing adalah 0,84 dan 1,49 dB/cm pada 1310 dan 1550 nm. Telah dilaporkan bahwa molekul organik yang mengandung ikatan karbon-hidrogen (C–H) dan ikatan karbon-karbon (C–C) berhubungan dengan kehilangan optik. Namun molekul organik yang dimasukkan pada penelitian ini diketahui hanya sedikit mempengaruhi kehilangan optik. Jadi dipercaya bahwa penghilangan gugus silanol yang tidak lengkap adalah alasan utama untuk kehilangan optis yang teramati.

5. Kesimpulan

Material optik yang dapat dipolakan dengan foto telah dibuat dari larutan prekursor berbasis MAPTMS dan TEOS. Ketebalan lapisan pemandu yang difabrikasi dengan metode *spin-coating* dikontrol antara 6 sampai 8,7 μm . Iradiasi UV dan *post-baking* menginduksi polimerisasi gugus metakrilat dan reaksi kondensasi antara gugus metoksi dan silanol, yang dapat meningkatkan indeks bias. Film yang dipola dengan baik dengan ketebalan garis 8 μm diperoleh dengan *etching* basah sederhana setelah diiradiasi dengan sinar UV. Indeks bias material penyangga dikontrol secara tepat sebagai fungsi komposisi PhTMOS dan film tebal dengan ketebalan 22 μm dengan mudah dihasilkan melalui *spin-coating* tunggal. Diamati bahwa material pemandu yang dibuat memiliki transparansi yang baik dan kehilangan propagasinya masing-masing adalah 0,84 dan 1,49 dB/cm pada 1310 dan 1550 nm.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. Kawachi, IEE Proc. Optoelectron. 143 (1996) 257.
- [2] Y.P. Li, C.H. Henry, IEE Proc. Optoelectron. 143 (1996) 263.
- [3] A.B. Wojcik, L.C. Klein, Appl. Organomet. Chem. 11 (1997) 129.
- [4] K. Haas, Adv. Eng. Mater. 2 (2000) 571.

- [5] Y. Chujo, R. Tamaki, MRS Bull. 26 (2001) 389.
- [6] C. Sanchez, B. Lebeau, MRS Bull. 26 (2001) 377.
- [7] D.A. Loy, MRS Bull. 26 (2001) 364.
- [8] J. Wen, G.L. Wilkes, Chem. Mater. 8 (1996) 1667.
- [9] S.I. Najafi, T. Touam, R. Sara, M.P. Andrews, M.A. Fardad, J. Lightwave Technol. 16 (1998) 1640.
- [10] P. Coudray, P. Etienne, Y. Moreau, Mater. Sci. Semicond. Process. 3 (2000) 331.
- [11] P. Innocenzi, A. Martucci, M. Guglielmi, L. Armelao, S. Pelli, G.C. Righini, G.C. Battaglin, J. Non-Cryst. Solids 259 (1999) 182.
- [12] H. Ma, A.-Y. Jen, L.R. Dalton, Adv. Mater. 14 (2002) 1339.
- [13] D.L. Ou, A.B. Seddon, J. Non-Cryst. Solids 210 (1997) 187.
- [14] W. Que, Y. Zhou, Y.L. Lam, Y.C. Chan, S.D. Cheng, Z. Sun, C.H. Kam, J. Sol-Gel Sci. Technol. 18 (2000) 77.
- [15] G.C. Righini, S. Pelli, J. Sol-Gel Sci. Technol. 8 (1997) 991.
- [16] S. Jeong, W. Jang, J. Moon, Thin Solid Films 466 (2004) 204.
- [17] K. Saravanamuttu, X.M. Du, S.I. Najafi, M.P. Andrews, Can. J. Chem. 76 (1998) 1717.
- [18] G.R. Atkins, R.M. Krolikowska, A. Samoc, J. Non-Cryst. Solids 265 (2000) 210.
- [19] S. Jeong, J. Moon, J. Non-Cryst. Solids 351 (2005) 3530-3535.