



SINTESIS BAHAN RESIST DARI *EPOXY* UNTUK APLIKASI FOTOLITOGRAFI

Sutikno*, Eka Nurdiana, Sugianto

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang (Unnes), Kampus Sekaran Gunungpati Gedung D7 Lt. 2.,
Semarang, Indonesia, Email: smadnasri@yahoo.com

Abstrak

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi resin *epoxy*, *sodium acetate trihydrate* dan toluena. *Epoxy* merupakan polimer yang sering digunakan sebagai komponen photoresist. Polimer berbasis *epoxy* merupakan kandidat yang baik digunakan sebagai bagian dari perangkat mekanik mikro elektro. *Epoxy* umumnya memberikan sifat adhesi yang luar biasa terhadap permukaan semikonduktor, sensitivitas yang baik dan harga yang murah. Photoresist *epoxy* yang dihasilkan memiliki absorbansi 0,1-1,5 pada panjang gelombang g-line, h-line dan i-line, sedangkan pada panjang gelombang XeF selalu bernilai negatif. Struktur mikro permukaan film tipis photoresist dengan pemanasan 70°C menghasilkan homogenitas permukaan lebih halus daripada pemanasan 90°C. Kerapatan photoresist meningkat dengan semakin banyaknya komposisi toluena dan viskositas cairan photoresist berkurang dengan meningkatnya komposisi toluena.

Kata kunci: photoresist; *epoxy*; polimer fotosensitif; litografi.

Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya kecanggihan teknik fotolitografik menggunakan radiasi pada panjang gelombang yang sebanding dengan ukuran fitur telah memungkinkan produksi massal piranti elektronik dengan dimensi sangat kecil. Dorongan ini akan terus berlanjut dan mendorong pemanfaatan panjang gelombang yang lebih pendek (Rothschild *et al.*, 1997; Houlihan *et al.*, 2003; Ingresso *et al.*, 2007). Untuk fabrikasi piranti elektronik berdimensi kecil diperlukan photoresist yang memiliki resolusi yang tinggi.

Photoresist banyak digunakan pada industri peralatan elektronik seperti papan rangkaian cetak, sel surya (Feiring *et al.*, 2003), *silk screen printing*, cakra optik (Chae *et al.*, 2002), penyaringan resist warna (Lee *et al.*, 2008), cetakan pada aplikasi permesinan skala mikro (Flack *et al.*, 2000), pemrosesan semikonduktor, rangkaian optik, perangkat mikrofluida (Pham *et al.*, 2007) dan telah banyak digunakan untuk produksi IC (Kim *et al.*, 2006). Untuk mengembangkan industri mikroelektronik ketersediaan bahan photoresist perlu dijamin dengan cara mensistesis sendiri.



Perbedaan bahan yang digunakan pada photoresist negatif dan photoresist positif terletak pada bahan senyawa fotoaktif, sedangkan bahan aditif yang digunakan sama (Schuster *et al.*, 2008). Matrik polimer merupakan komposisi utama photoresist (Diby *et al.*, 2007). Sifat photoresist bergantung pada struktur monomer dimana tingkat polimerisasi photoresist mampu membentuk ikatan hidrogen secara signifikan (Lin *et al.*, 2006). *Photo active generaor (PAG)* adalah bahan fotoaktif dalam photoresist yang menghasilkan asam pada saat iradiasi. Asam ini selanjutnya berfungsi untuk katalisis deproteksi dari polimer resist atau memulai polimerisasi kationik atau curing kelompok monomer, yang umumnya disebut sebagai amplifikasi kimia (Lamanna *et al.*, 2002). Zat aditif merupakan zat pendukung yang memberikan sifat photoresist yang lebih baik, misalnya resolusi, viskositas dan adhesi (Grine *et al.*, 2010). Untuk menghasilkan photoresist yang baik dapat dilakukan dengan cara mengoptimasi kadar toluena dan laju putaran spincoating. Kendala utama pada proses *spin coating* disebabkan oleh gaya sentrifugal ketika berputar (Pham *et al.*, 2004).

Photoresist berbasis *epoxy* dapat digunakan untuk aplikasi *micromechanical* dan mikrosistem sebagai sistem mikofluida, kemasan, *scanning probe*, dan sifat optiknya yang baik untuk pandu gelombang optik (Ingrosso *et al.*, 2007). SU8 merupakan jenis photoresist negatif *epoxy*. Photoresist ini diperoleh dengan melarutkan resin epon SU8 di pelarut organik GBL (*Gamma-butyrolactone*) dan ditambah garam *triaryl sulfonium* (10% berat epon SU8) sebagai fotoinisiator (Zhang *et al.*, 2001).

Metode

Cairan photoresist dibuat menggunakan bahan resin *epoxy* sebagai matriks polimer, *sodium acetate trihydrate*; dan toluena sebagai pelarut. Sampel cairan photoresist dipersiapkan dengan memvariasikan kandungan toluena, kerapatan dan viskositasnya diukur, dan struktur mikro dan absorbansi film tipis dikarakterisasi. Komposisi masing-masing cairan photoresist ditunjukkan pada Tabel 1.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan digital (ACS AD-300i), magnet pengaduk berpemanas, termometer raksa 150°C, gelas beker 50 ml dan 100 ml, layar penyaring ukuran T54 untuk menyaring cairan photoresist yang dihasilkan, kaca preparat berukuran 25 mm x 25 mm dengan tebal 1 mm yang digunakan sebagai substrat film tipis, *spin coater* untuk membuat lapisan film tipis pada substrat kaca, oven untuk pemanasan awal film tipis, CCD Microscope MS-804 untuk



karakterisasi homogenitas permukaan film tipis, gelas ukur dan timbangan digital ACS AD-300i untuk mengukur kerapatan photoresist, ocean optic Vis-NIR USB4000 untuk karakterisasi sifat absorbansi photoresist, dan LV series viscometer spindle number untuk karakterisasi viskositas photoresist.

Tabel 1. Komposisi komponen bahan pembuatan photoresist.

Bahan	Massa sampel (g)					
	A	B	C	D	E	F
<i>Epoxy</i>	10	10	10	10	10	10
<i>Sodium acetate trihydrate</i>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Toluena	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

Proses manufaktur photoresist diawali dengan melarutkan *sodium acetate trihydrat* pada toluena dengan pengadukan dan pemanasan menggunakan magnet pengaduk hingga suhu sekitar 75-80°C. Larutan *sodium acetate trihydrat* dan toluena ini dimasukkan ke dalam resin *epoxy*. Saat suhu mencapai 80°C, pemanasan dihentikan dan pengadukan dilanjutkan hingga waktu 15 menit. Setelah proses selesai, campuran didinginkan pada suhu ruang dan selanjutnya disaring menggunakan layar penyaring berukuran T54. Penyaringan ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang terbentuk selama proses manufaktur photoresist.

Pada penelitian ini, sampel film tipis resist dibuat dengan menggunakan metode *spin coating* pada substrat kaca berbentuk persegi (sisi 25 mm, tebal 1 mm) dengan arus 10 A selama 60 detik. Selanjutnya, film tipis pada substrat di-*prebake* menggunakan oven pada suhu 90°C selama 5 menit.

Hasil dan Pembahasan

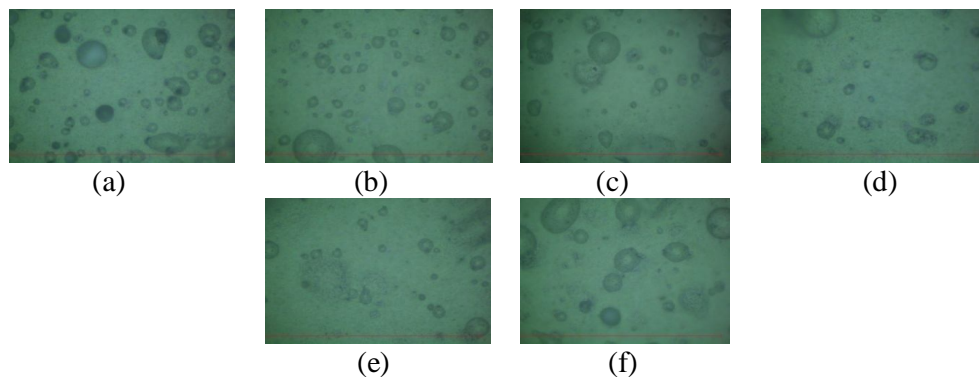
Cairan photoresist yang dibuat divariasi dalam enam komposisi yang berbeda. Sampel dibuat menggunakan *epoxy* dan *sodium acetate trihydrate* dengan jumlah sama yaitu masing-masing secara berurutan 10g dan 2,5g. Sedangkan komposisi toluena divariasi antara 4,5 sampai dengan 7g. Pada sampel A (toluena 4,5g), banyak terbentuk kontaminan pada proses pencampuran. Pada sampel B (toluena 5,0g), menghasilkan kontaminan yang lebih sedikit daripada kontaminan pada sampel A. Begitu juga pada sampel C, D, E dan F kontaminan yang dihasilkan semakin sedikit. Proses ini menunjukkan bahwa banyaknya pelarut toluena mempengaruhi pembentukan kontaminan. Semakin banyak pelarut yang digunakan, semakin sedikit terbentuk kontaminan. Kontaminan tersebut terlihat jelas ketika suhu photoresist sama dengan



suhu ruangan. Selanjutnya, photoresist disaring menggunakan layar penyaring berukuran T54 untuk menghilangkan kontaminan tersebut.

Untuk karakterisasi struktur mikro permukaan, selain *prebake* menggunakan suhu 95°C, juga dilakukan *prebake* pada suhu 70°C untuk membandingkan struktur mikro permukaan yang dihasilkan. Terjadi penguapan bahan volatile dari permukaan resist selama *prebake* yang tergantung pada suhu dan waktu *prebake*. Waktu *prebake* menentukan kandungan akhir cairan resist. Waktu *prebake* yang pendek meninggalkan film resist yang lebih lembut yang kurang rentan terhadap tegangan internal selama langkah proses selanjutnya (Campo *et al.*, 2007). Jumlah perubahan photoresist tajam selama 5 menit *baking* pertama, perubahan hanya sedikit setelah itu. Konsentrasi cairan resist sisa lebih tinggi di dekat permukaan resist dan sejumlah besar sisa cairan tersisa pada suhu *prebake* yang rendah antara 80°C dan 95°C (Sensu & Sekiguchi, 2003).

Struktur mikro permukaan keenam sampel photoresist dengan komposisi yang berbeda ditunjukkan oleh Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, struktur mikro permukaan sampel film tipis photoresist berbeda-beda. Pada sampel A terlihat banyak terbentuk gelembung dengan ukuran yang besar. Pada sampel B juga terbentuk banyak gelembung tetapi lebih homogen. Sampel C lebih homogen daripada sampel B meskipun ada beberapa gelembung berukuran besar. Pada sampel D dan E terbentuk gelembung yang lebih sedikit dan sampel E lebih homogen daripada sampel D. Namun, pada sampel F terbentuk banyak gelembung dan berukuran besar. Meskipun demikian, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen dari sampel A sampai F sehingga semakin banyak komposisi toluena, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proses *spin coating* dan proses *prebake*.



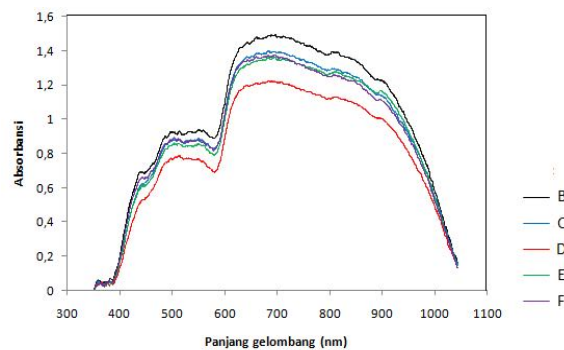
Gambar 1. Struktur permukaan film tipis photoresist dengan variasi kandungan toluena: a) 4.5g; b) 5g; c) 5,5g; d) 6g; e) 6,5g; dan f) 7g.



Karakterisasi absorbansi bertujuan untuk mengetahui nilai absorbansi photoresist pada panjang gelombang tampak hingga inframerah (350-1000 nm). Aplikasi photoresist pada panjang gelombang tersebut antara lain untuk litografi menggunakan panjang gelombang 365 nm (litografi i-line menggunakan lampu merkuri), 405 nm (litografi h-line menggunakan lampu merkuri) dan 436 nm (litografi g-line menggunakan lampu merkuri). Absorbansi sampel photoresist pada panjang gelombang g, h, dan i-line ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai absorbansi sebesar 0,1-1,5 pada gelombang g, h, dan i-line. Grafik pada Gambar 2 menunjukkan perbandingan sifat absorbansi dari kelima sampel tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan toluena mempengaruhi sifat absorbansi photoresist.

Tabel 2. Absorbansi photoresist pada gelombang g, h dan i-line untuk sampel B, C, D, E dan F

Nama	Lamda (nm)	Absorbansi				
		B	C	D	E	F
g-line	436	1,509	1,438	1,336	1,413	1,452
h-line	405	1,430	1,308	1,316	1,366	1,343
i-line	365	0,117	0,134	0,134	0,112	0,109

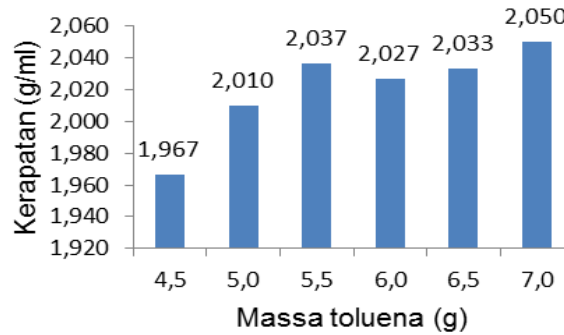


Gambar 2. Spektrum absorbansi photoresist dari sampel B, C, D, E dan F.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, kerapatan cairan photoresist meningkat dari sampel A hingga F. Berdasarkan pengamatan pada grafik, dapat disimpulkan bahwa kerapatan cairan cenderung meningkat dengan semakin banyaknya jumlah pelarut toluena yang digunakan.



Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika
"Pembelajaran Sains berbasis Kearifan Lokal"
Surakarta, 14 September 2013



Gambar 3. Grafik kerapatan sampel cairan photoresist.

Jika dilihat dari grafik pada Gambar 3, sampel C yang mengalami peningkatan signifikan dan berbeda dari sampel lain. Kerapatan sampel F dengan komposisi toluena terbesar yaitu 7,0g memiliki kerapatan paling tinggi yaitu 2,050 g/ml. Kerapatan cairan photoresist yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dibandingkan dengan kerapatan cairan photoresist berbasis *epoxy* SU8. Nilai kerapatan photoresist SU8 berkisar antara 1,070 sampai dengan 1,187 g/ml. Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa cairan photoresist pada penelitian ini memiliki kerapatan yang lebih besar daripada kerapatan photoresist SU8 yang beredar di pasaran.

Pada grafik Gambar 4 terlihat bahwa grafik semakin turun dari sampel B, D dan F. Viskositas berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Suatu larutan dengan konsentrasi tinggi akan memiliki viskositas yang tinggi pula. Semakin banyak partikel yang terlarut, viskositasnya semakin tinggi pula. Teori tersebut sesuai dengan hasil pengukuran pada penelitian ini. Sampel B menggunakan sedikit pelarut, sehingga menghasilkan konsentrasi dan viskositas tinggi. Sampel D menggunakan lebih banyak pelarut daripada sampel B, sehingga konsentrasi dan viskositas yang dihasilkan lebih rendah daripada sampel B. Sedangkan sampel F menggunakan pelarut yang paling banyak, sehingga konsentrasi dan viskositasnya paling rendah.

Tabel 3. Viskositas kinematik sampel cairan photoresist

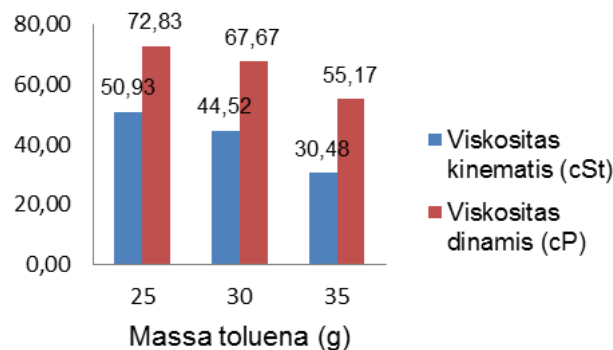
Sampel	Viskositas (cP)	Kerapatan (g/cm ³)	Viskositas kinematik (cS)
1	72,83	1,43	50,93
2	67,67	1,52	44,52
3	55,17	1,81	30,48



Viskositas rendah bernilai 8cP, viskositas sedang bernilai 29 cP dan viskositas tinggi bernilai 50cP. Berdasarkan kategori tersebut, maka photoresist yang dihasilkan pada penelitian ini tergolong viskositas tinggi yaitu sebesar 72.833 cP, 67.667 cP dan 55.167 cP. Nilai viskositas yang ditunjukkan di atas merupakan viskositas dinamis. Dari viskositas dinamis photoresist, dapat ditentukan viskositas kinematik photoresist (Lihat Tabel 4). Jika dibandingkan dengan viskositas kinematik SU8, viskositas kinematik photoresist yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai di sekitar viskositas kinematik SU-8 2005.

Tabel 4. Viskositas kinematik photoresist SU8 yang beredar di pasaran

Jenis photoresist	Viskositas (cSt)
SU-8 2000.5	2,49
SU-8 2002	7,5
SU-8 2005	45
SU-8 2007	140
SU-8 2010	380
SU-8 2015	1250



Gambar 4. Grafik viskositas sampel cairan photoresist.

Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, photoresist *epoxy* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki absorbansi yang berkisar antara 0,1-1,5 pada panjang gelombang g-line, h-line dan i-line. Absorbansi ini selalu identik pada semua sampel yang dikarakterisasi meskipun komposisi toluena berbeda. Struktur mikro permukaan film tipis photoresist pada setiap sampel masih terbentuk banyak gelembung. Semakin banyak komposisi toluena, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen. Kerapatan photoresist menunjukkan peningkatan dengan semakin banyaknya komposisi toluena. Dibandingkan dengan kerapatan photoresist SU-8, kerapatan photoresist yang



dihasilkan pada penelitian ini bernilai lebih rendah. Viskositas dinamis maupun viskositas kinematik cairan photoresist yang dihasilkan semakin kecil dengan meningkatnya komposisi toluena.

Daftar Pustaka

- Campo, A.D., & C. Greiner. 2007. SU8: a photoresist for high-aspect-ratio and 3D submicron lithography. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 17: R81-R95
- Chae, K.H. et al. 2002. A Water-Developable Negative Photoresist Based on the Photocrosslinking of *N*-Phenylamide Groups with Reduced Environmental Impact. *Journal of Applied Polymer Science*, 86: 1172-1180
- Diby, A.K., et al. 2007. Kinetic Study of Negative Dry-film Photoresist. *eXPRESS Polymer Letters Vol.1*, 10: 673-680
- Feiring, A.E. et al. 2003. Design of Very Transparent Fluoropolymer Resists for Semiconductor Manufacture at 157 nm. *Journal of Fluorine Chemistry*, 122: 11-16
- Flack, W.W., & S. Kulas. 2000. Process Characterization of an Ultra-Thick Strippable Photoresist Using a Broadband Stepper. *SPIE*, 3999-47
- Grine, A.J., et al. 2010. Pre-photolithographic GaAs Surface Treatment for Improved Photoresist Adhesion During Wet Chemical Etching and Improved Wet Etch Profiles. *CS MANTECH Conference*, 175-179
- Houlihan, F.M. et al. 2003. Retrospective of work at Bell Laboratories on the effect of fluorine substitution on the properties photoacid generator. *Journal of Fluorine Chemistry*, 122: 47-55.
- Ingresso, C. et al. 2007. An Epoxy Photoresist Modified by Luminescent Nanocrystals for the Fabrication of 3D High-Aspect-Ratio Microstructures. *Adv. Funct. Mater.*, 17: 2009-2017
- Kim, J.B. et al. 2006. Photobleachable silicon-containing molecular resist for deep UV lithography. *J. Mater. Chem.*, 16: 3448-3451
- Lamanna, W.M. et al. 2002. New ionic photo-acid generators (PAGs) incorporating novel perfluorinated anions. *Proceedings of SPIE*, Vol. 4690
- Lee, C.K. et al. 2008. Preparation and properties of nano-silica modified negative acrylate photoresist. *Thin Solid Films*, 516: 8399-8407
- Lin, H.M. et al. 2006. Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Containing Copolymers for Negative-Type Photoresists. *Macromol. Rapid Commun.*, 27: 1550-1555
- Microchem. Processing Guidelines for: SU-8 2000.5, SU-8 2002, SU-8 2005, SU-8 2007, SU-8 2010 and SU-8 2015. www.microchem.com.
- Pham, N.P., et al. 2004. Photoresist Coating Methods for the Integration of Novel 3-D RF Microstructures. *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 13, 3: 491-499



- Pham, T.A. et al. 2007. Inorganic polymer photoresist for direct ceramic patterning by Photolithography. *Chem. Commun.*, 4021-4023
- Rothschild, M., et al. 1997. Photolithography at 193 nm. *The Lincoln Laboratory Journal*, Vol 10, 1: 19-34.
- Schuster, C. et al. 2009. Mr-NIL 6000LT-Epoxy-Based Curing Resist for Combined Thermal and UV Nanoimprint Lithography Below 50°C. *Journal Microelectronic Engineering*, 86: 722-725
- Sensu, Y. & Sekiguchi, A. 2003. Improved resolution of thick film resist (effect of pre-bake condition). *Proc. SPIE*, 4979
- Zhang, J. et al. 2001. Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its applications in micro-electro-mechanical systems (MEMS). *Polymer Testing*, 20:693-701

Pertanyaan dan Jawaban :

Nama Penanya : Mochamad Nurul Amin

Pertanyaan : Apakah penelitian ini masih jarang dilakukan di Indonesia?

Jawaban :

belum banyak peneliti yang tertarik mengembangkan sintesis dari bahan alam menjadi bahan industri (Chemical) yang pure analysis