

Karakterisasi *UV-Photolithography Aligner* Berbiaya Rendah Untuk Aplikasi Biomachining

Jos Istiyanto, Delfika Canra, Yudan Whulanza, Iman Santoso, Gandjar Kiswanto

Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
E-mail: josist@eng.ui.ac.id

Abstrak

Photolithography merupakan salah satu proses fabrikasi mikro yang banyak digunakan. Namun mahalannya harga sebuah *UV-photolithography aligner* di pasaran menjadi alasan untuk merancang dan melakukan karakterisasi *UV-photolithography aligner* berbiaya murah untuk aplikasi skala laboratorium. *Photolithography aligner* berbiaya murah diperoleh dengan cara merancang sistem yang sederhana menggunakan komponen-komponen dari produk komersial yang ada dipasaran dan tentu saja harganya murah. Lampu UV komersial dan *photomask* yang murah merupakan komponen utama dalam penelitian ini. Proses *photolithography* dalam penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari keseluruhan proses biomachining. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa kemampuan *UV-photolithography aligner* berbiaya murah dalam pembuatan produk dengan proses *photolithography*, mencari waktu *exposure* dan resolusi optimumnya. Metoda proses *photolithography* yang digunakan adalah metoda kontak. Dengan intensitas cahaya $0,2 \text{ mW/cm}^2$ memerlukan waktu *exposure* minimal 50 detik. Waktu *exposure* optimum tergantung dari bahan *photomask* yang digunakan. Resolusi terkecil yang dicapai tergantung resolusi *photomask*. Hasil resolusi terkecil adalah $165 \mu\text{m}$ dengan persentase penyimpangan 10% terhadap desain awal.

Keywords: Photolithography aligner, low-cost, waktu exposure, photomask, lampu

Pendahuluan

Populernya proses *photolithography* dalam fabrikasi mikro yang sering dipakai di dunia industri pembuatan semi konduktor dan sektor lainnya, menjadikan *photolithography aligner* sangat dibutuhkan. Berbagai negara di Eropa dan Asia menawarkan berbagai macam *photolithography aligner* dengan harga hingga ratusan ribu euro. Biaya pembuatan dan pemeliharaan *photomask*-nya juga terus meningkat (Hoonchul Ryoo et al, 2011). Sehingga membutuhkan investasi yang sangat tinggi untuk memproduksi sebuah produk dengan proses ini. Komponen utama *aligner* yang sangat berpengaruh dalam proses adalah sumber cahaya lampu UV dan *photomask* untuk metoda kontak dan celah, dan tambahan lensa untuk metoda proyeksi. Panjang gelombang (λ) UV 100-400 nm dan daya lampu sebesar 350-500 W yang digunakan *aligner* pada umumnya biasanya memerlukan waktu *exposure* sekitar 1-20 detik. Jenis bahan *photomask* juga akan mempengaruhi waktu *exposure*. Quartz merupakan salah satu material *photomask* transparan yang mahal tetapi paling disukai karena quartz memiliki koefisien pemuaian yang rendah dibandingkan dengan material lainnya seperti sodalime, plastik, stiker

dan lain-lain.

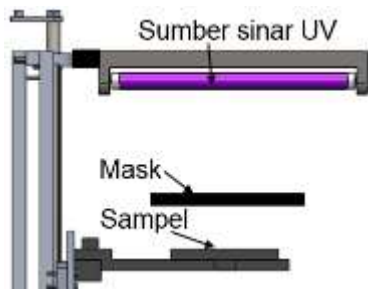
Mahalannya harga sebuah *UV-photolithography aligner* di pasaran menjadi alasan untuk merancang dan mengkarakterisasi *UV-photolithography aligner* berbiaya murah untuk aplikasi skala laboratorium. *Photolithography aligner* berbiaya murah diperoleh dengan cara merancang sistem yang sederhana yang menggunakan komponen-komponen dari produk komersial dan tentu saja harganya murah. Lampu UV komersial dan *photomask* yang murah merupakan komponen utama dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kemampuan *UV-photolithography aligner* berbiaya murah dalam pembuatan produk dengan proses *photolithography*, mencari waktu *exposure* dan resolusi optimumnya. Proses *photolithography* pada penelitian ini akan diaplikasikan pada proses *biomachining*, dimana *photolithography* ini merupakan proses awal dari keseluruhan rangkaian proses *biomachining* (Jos Istiyanto dkk, 2012)(Hong Hocheng dkk, 2012).

Eksperimen

Pembuatan *aligner*

Photolithography aligner dirancang sederhana guna kepentingan penelitian tanpa mengurangi prinsip dari proses *photolithography* seperti terlihat pada gambar 1.

Aligner didesain untuk metoda kontak dan celah (*proximity*). Material yang digunakan memiliki harga yang murah dan banyak dijual di pasaran. Lima buah lampu UV-C philips 11 W dipasang pada rangka *aligner* sebagai sumber cahaya *exposure*. Dudukan wafer didesain untuk ukuran wafer maksimal 2x2 cm dengan material akrilik warna tanpa tembus cahaya. Dengan material yang sama dudukan *photomask* didesain untuk menjepit *photomask* yang memiliki luas area cahaya *exposure* 4 cm².

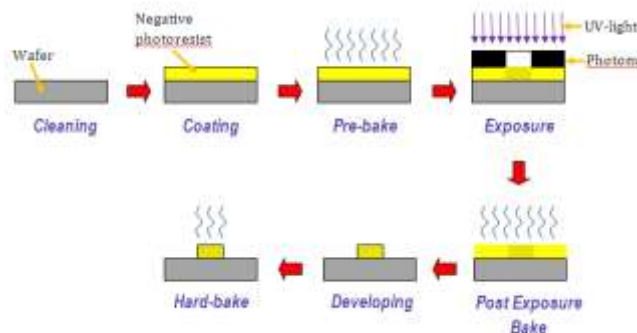


Gambar 1. Konsep UV-photolithography aligner berbiaya rendah.

Material photomask dan photoresist

Photomask merupakan film tipis yang berfungsi sebagai pola untuk mencetak pola pada *photoresist*. Bahan *photomask* transparan yang digunakan adalah plastik dan stiker transparan DURATEX dimana di atasnya dicetak berbagai variasi pola menggunakan mesin cetak Canon IR 6020i, dan Canon Image press C 7000 VP dengan resolusi masing-masing 300, 600 dan 1200 dpi.

Material sampel yang dilapisi *photoresist* adalah wafer silikon berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 10x10x0,675 mm. Aldrich negative *photoresist I* dengan nomor produk 651796 digunakan untuk melapisi sampel.



Gambar 2. Skema Proses UV-photolithography.

Prosedur percobaan

Percobaan dilakukan sesuai dengan proses photolithography pada umumnya seperti terlihat

pada gambar 2 (Darling, 2013). Pertama, membersihkan permukaan sampel yang akan dilapisi (*coating*) dengan cairan pembersih secara berturut-turut yakni methanol, thinner dan aquadest kira-kira selama 30 menit. Selanjutnya sampel dikeringkan dengan cara disemprotkan udara bertekanan dan dipanaskan hingga kering. Kemudian sampel dilapisi dengan *photoresist* menggunakan *spin coater*, dengan cara *photoresist* diteteskan keatas sampel kurang lebih 1 cc dan diputar dengan kecepatan 1000 rpm selama 5 detik dan 2500 selama 5 detik. Ketebalan *photoresist* yang didapatkan berkisar 2 µm dengan kekentalan *photoresist* 0,89 g/mL. Tahap berikutnya *pre-bake* (*soft bake*), dimana sampel dipanaskan diatas hot plate dengan suhu 95°C selama 45 detik hingga 1 menit dan siap untuk disinari (*exposure*) di dalam *aligner* (Sugeng supriadi et al, 2007). Metoda *exposure* yang digunakan adalah metoda kontak dengan intensitas cahaya 1358 lux atau 0,2 mW/cm² pada jarak radiasi *exposure* terhadap sampel 30 mm. Variasi waktu *exposure* dilakukan mulai dari 15 detik, 30 detik, 1 menit hingga 5 menit. Sampel dipanaskan kembali setelah *exposure* (biasa disebut sebagai *Post Exposure Bake*) diatas hot plate dengan suhu 95°C-120°C selama 5 menit. Sebelum proses pembentukan (*developing*), sampel harus didinginkan secara perlahan. Kemudian sampel dicelup ke dalam *developer* selama 3-7 menit. Kemudian sampel dikeringkan dengan meniupkan nitrogen atau udara bertekanan rendah hingga bagian yang terbentuk menjadi bersih. Tahap *hard-bake* dilakukan guna mengeraskan *photoresist* yang sudah terbentuk.

Hasil dan Pembahasan

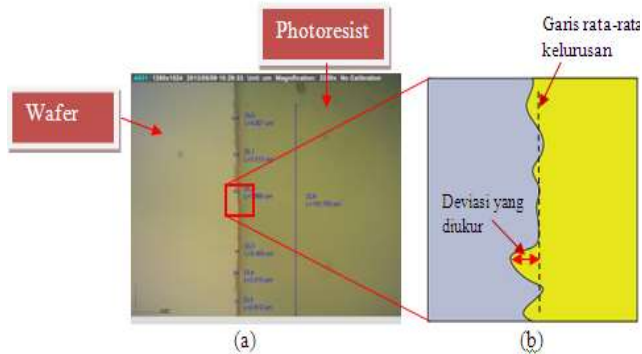
Kemampuan lampu UV komersial

Pengujian pertama adalah mengetahui kemampuan lampu UV melakukan proses *photolithography*. Percobaan dilakukan dengan menutupi setengah sampel dengan wafer lainnya sedangkan setengah lagi langsung menerima radiasi UV. Hasilnya diamati menggunakan mikroskop perbesaran eyepiece 1,4x dan lensa 20x. Hasil yang diharapkan adalah garis lurus tetapi terdapat deviasi *photoresist* seperti terlihat pada gambar 3. Deviasi *photoresist* yang dimaksud disini adalah penyimpangan hasil pembentukan *photoresist* dari garis ideal.

Karakter *photoresist* yang diproduksi Aldrich bereaksi dengan cahaya UV pada nilai intensitas minimal 10 mW/cm² dan waktu *exposure* selama 1 detik (Sigma-Aldrich, 2013). Sedangkan intensitas cahaya pada percobaan ini menggunakan lampu UV komersial 5 x 11 W pada jarak *exposure* 30 mm adalah 0,2 mW/cm². Intensitas cahaya UV percobaan 50x lebih kecil dari nilai yang direkomendasikan, sehingga menyebabkan peningkatan waktu *exposure* sampai 50 detik.

Percobaan yang dilakukan mulai dari waktu *exposure* 30 detik hingga 5 menit. Ternyata percobaan dengan waktu

exposure dibawah 50 detik tidak terbentuk. Sedangkan hasil percobaan dari 1 menit hingga 5 menit terbentuk mendekati sempurna. Percobaan selanjutnya adalah mengoptimalkan waktu *exposure* dari proses *UV-photolithography* dengan menggunakan *photomask*.



Gambar 3. Hasil percobaan (a) pengamatan mikroskop (b) mekanisme pengukuran

Optimasi waktu *exposure*

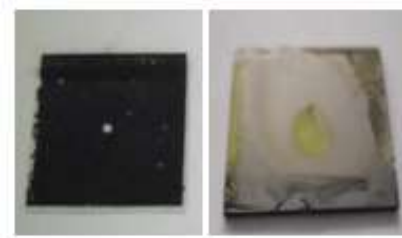
Photomask dicetak dengan printer beresolusi 300, 600 dan 1200 dpi, akan tetapi hasil setelah proses tidak sesuai keinginan. Setelah diperiksa dengan menggunakan profil proyektor, ternyata *photomask* tersebut belum bisa melindungi bagian yang tidak terkena cahaya. Sehingga semua *photoresist* sangat sulit terbentuk (lihat Gambar 4). Kemudian dicoba untuk membuat *photomask* dengan printer beresolusi 1200 dpi tetapi 2 kali cetak (ditimpa). Dan hasilnya *photoresist* terbentuk sesuai keinginan.

Percobaan menggunakan *photomask* stiker dilakukan dengan variasi waktu mulai dari 3 menit dan diakhiri pada 9 menit dengan interval 1 menit. Kemudian percobaan dilanjutkan dengan *photomask* stiker tanpa lem dengan variasi waktu *exposure* yang sama.

Penggunaan *photomask* stiker untuk mencetak pola pada *photoresist* telah menambah waktu *exposure*. Hal ini dikarenakan pemakaian *photomask* mengurangi intensitas cahaya UV sehingga energy cahaya UV yang diterima *photoresist* berkurang. Deviasi *photoresist* yang dihasilkan untuk masing-masing waktu *exposure* pada tiga perlakuan yang berbeda diplot seperti pada gambar 5. Waktu *exposure* optimumnya bisa terlihat dari grafik tersebut.

Radiasi langsung (tanpa *photomask*) memiliki deviasi terkecil dan waktu *exposure* yang cepat dibandingkan dengan *photomask* stiker dan stiker tanpa lem. Masing-masing memiliki waktu *exposure* optimum berturut-turut 2-3, 6-7 dan 8 menit untuk proses tanpa *photomask*, stiker tanpa

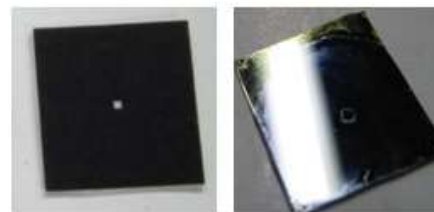
lem dan stiker. Hal ini membuktikan bahwasanya *photomask* sangat mempengaruhi waktu *exposure*.



(a)

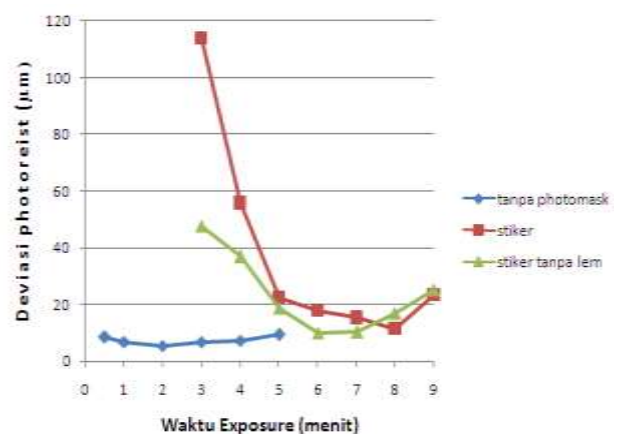


(b)



(c)

Gambar 4. *Photomask* dan hasil *exposure* 3 menit untuk resolusi (a)600dpi (b)1200dpi (c)2x1200 dpi



Gambar 5. Grafik deviasi *photoresist* terhadap waktu *exposure*

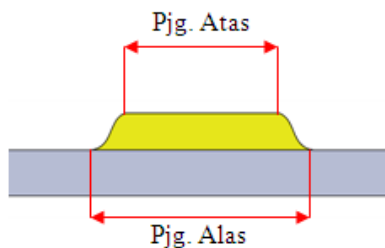
Optimasi resolusi

Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan *photomask* stiker dan waktu *exposure* 8 menit. Ada dua model pola yang di uji, yakni pola bujur sangkar dan

pola jalur PCB (*printed circuit board*) untuk *microcontroller*.

Pada percobaan ini sangat tergantung dengan resolusi *photomask*. Hal ini dibuktikan dari 3 ukuran pola PCB yakni 30x23, 20x15 dan 10x8 mm dengan fitur garis terkecil masing-masing 300, 150 dan 75 μm dan lebar celah terkecil 100, 50 dan 25 μm , hanya pola PCB 10x8 mm yang tidak berhasil terbentuk.

Dimensi *photoresist* yang terbentuk mengalami penyimpangan dari desain. Pada pola bujur sangkar yang memiliki ukuran desain 2x2 mm dan 1x1 mm, ternyata hasil *photoresist* pada panjang alas melebihi dari ukuran desain, sedangkan panjang atas kurang dari ukuran desain (lihat gambar 6 dan tabel 1).

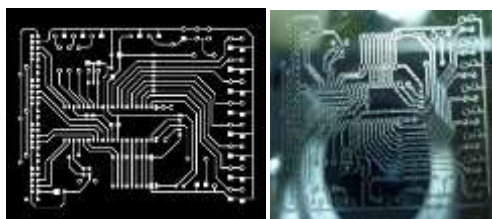


Gambar 6. Pengukuran *photoresist* yang terbentuk

Tabel 1. Dimensi *photoresist* yang terbentuk untuk pola bujur sangkar

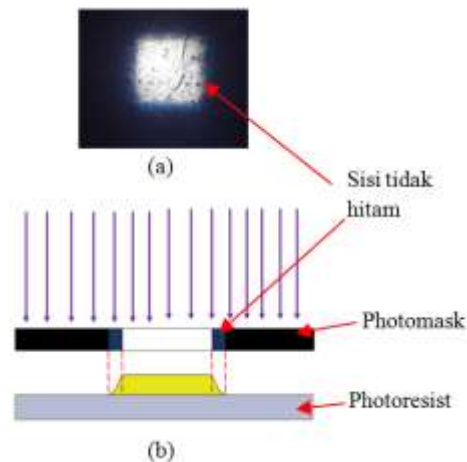
Sampel	Rata-rata Dimensi PR/ sampel (mm)					
	Pola 2x2			Pola 1x1		
	Pjg. Alas	Pjg. Atas	Tinggi	Pjg. Alas	Pjg. Atas	Tinggi
1	2.167	1.832	0.0025	1.218	0.882	0.0022
2	2.295	1.805	0.0023	1.211	0.795	0.0021
3	2.167	1.756	0.0028	1.194	0.857	0.0021
Rata-rata	2.209	1.798	0.0025	1.208	0.845	0.0021

Pengukuran dilakukan juga pada *photomask* pola PCB 20x15 mm karena memiliki fitur yang kecil (lihat gambar 7). Hasilnya juga mengalami penyimpangan. Ukuran original fitur terkecil dari desain adalah 150 μm menjadi 165 μm pada hasil *photoresist* atau ada penyimpangan sebesar 10 %.



Gambar 7. *Photomask* dan hasil *post exposure*

Setelah diperiksa menggunakan *profile projector*, ternyata pada pola *photomask* yang dicetak terdapat sisi yang tidak hitam dan disinyalir dapat menembus cahaya (lihat gambar 8). Sehingga hal ini mempengaruhi penyimpangan hasil terhadap pola yang sudah didesain.



Gambar 8. Kesalahan karena *photomask* (a) hasil pengamatan profil proyektor (b) ilustrasi

Penyimpangan *photoresist* dihitung dan dibandingkan terhadap desain dan *photomask* seperti yang terlihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Persentase penyimpangan

Pola		Persentase penyimpangan (%)		
		M-D	PR-D	PR-M
Bujur sangkar	2x2	5.8	10.47	4.64
	1x1	5	20.77	15.77
PCB	20x15	11	10	21

Ket : M-D : *Photomask* terhadap desain
PR-D : *Photoresist* terhadap desain
PR-M : *Photoresist* terhadap *Photomask*

Kesimpulan

Proses photolithography menggunakan *UV-photolithography aligner* berbiaya rendah menggunakan produk komersial dapat dilakukan. *Exposure* langsung cukup dilakukan selama 1-5 menit. Waktu *exposure* optimum tergantung dari bahan *photomask* yang digunakan. *Photomask* stiker yang murah memiliki waktu *exposure* 8 menit dan resolusi yang bisa dicapai 165 μm .

Ucapan Terima kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DRPM UI atas dukungannya melalui skema hibah penelitian unggulan perguruan tinggi 2013 sehingga penelitian ini bisa dilakukan.

Referensi

Hoonchul Ryoo, Dong Won Kang, Jae W. Hahn, Analysis of the line pattern width and exposure efficiency in maskless lithography using a digital micromirror device. *Microelectronic Engineering* Vol.88, 3145–3149 (2011)

Jos Istiyanto, Agung-Shamsuddin Saragih, Tae Jo Ko. Metal based micro-feature fabrication using biomachining process. *Microelectronic Engineering* 98, 561–565 (2012)

Hong Hocheng, Jei-heui Chang, Umesh U. Jadhav. Micromachining of various metals by using *Acidithiobacillus ferrooxidans* 13820 culture supernatant experiments. *Journal of Cleaner Production* 20, 180-185 (2012)

Sugeng Supriadi. Study on Micro Metal Injection Molding (μ MIM) of STS 316 nanopowders, A Thesis submitted to the Departement of Material Science and Engineering Yeungnam University (2007)

Sigma-Aldrich. <http://www.sigmaaldrich.com> diakses tanggal 15 maret 2013

R. B. Darling. MicroFabrication Photolithography. <http://www.ee.washington.edu/research/microtech/cam/PROCESSES/photolithographypdf.html> diakses tgl 15 maret 2013.