

## STUDI KECEPATAN PENGIKISAN MATERIAL DAN PROFIL DINDING PADA PROSES *DEEP ETCHING* ALUMINIUM

Tri Widodo Besar Riyadi<sup>1)</sup>, Kevin Andryono<sup>2)</sup>, Muhammad Fatchurrahman<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta 1)

Email: Tri.Riyadi@ums.ac.id

### *Abstract*

*The objective of this work was to investigate the effect of electrical current on the material removal rate and wall profile in the deep etching process of aluminum alloy. The etching solution was composed of natrium chloride, copper sulfate and aquadest, whereas the current variations used for the etching were 0, 1.6, 2.1, 3, 3.5 and 5 Ampere. The result shows that the etched mass increased as the increase of the current. However, the material removal rate obtained from the experiment increased more gradually compared with that obtained from the theoretical calculation. The micrograph of the wall profile shows that an increase in the current has increased the surface depth, and the side wall tent to form a curve shaped with the same radii.*

**Keywords:** *Deep etching, currents, material removal rates, wall profile*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan perangkat yang lebih portabel, praktis serta ukuran yang minimalis mendorong perkembangan teknologi dibidang industri mekanik dan elektronik untuk membuat produk dengan komponen-komponen sekecil mungkin. Untuk membuat komponen-komponen kecil tersebut biasanya dilakukan dengan proses yang dikenal dengan *micromachining*. Proses permesinan konvensional seperti mesin bubut dan mesin frais tidak mampu untuk menangani hal tersebut karena keterbatasan ukuran pahatnya. Oleh karena itu dibutuhkan proses pengerjaan permesinan dengan metode lain yaitu *micromachining* yang didasarkan pada prinsip pengikisan material secara elektro kimia. Proses ini disebut dengan proses etsa dalam (*deepetching*) yang melibatkan penggunaan larutan kimia (*wet etching*) maupun plasma (*dry etching*).

Dari hasil studipustaka tentang proses *deep etching*terdapat beberapa masalah yang membutuhkan studi lebih lanjut antara lain yaitu bagaimana mempersiapkan lapisan *resist* pada permukaan pelat atau material yang akan di-*etching*, bagaimana membuat alat untuk proses penempatan *resist* agar desain gambar yang diinginkan mempunyai pola dan ukuran yang akurat, bagaimana membuat alat untuk

memvariasi arus listrik, dan bagaimana pengaruh parameter proses *etching*yaitu arus listrik terhadap kualitas profil dinding dan laju pengikisan material (*material removal rate*).Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh arus listrik terhadap laju pengikisan material, dan profil dinding pada proses *deep etching*.

### 2. KAJIAN LITERATUR

*Etching* adalah proses pengikisan logam menggunakan larutan asam yang kuat (*strong acid*). Proses *etching* biasanya digunakan untuk membuat desain tertentu pada permukaan logam. Proses ini dilakukan dengan menutup permukaan logam dengan resist dan bagian yang tidak terlindung akan tergerus atau terkikis oleh cairan *etching*. Proses *etching* atau etsa pertama kali dikenal pada abad pertengahan (tahun 1800-an) di benua Eropa untuk menghias permukaan logam seperti baju baja, meriam, dan pelat. Beberapa logam yang sering digunakan dalam proses etsa adalah magnesium, baja, tembaga, dan aluminium. Pelarut yang digunakan pun bermacam-macam. Proses etsa ini kemudian dikembangkan menjadi *deep etching* agar menghasilkan kontur produk 3 dimensi yang lebih dalam. Metode ini memiliki kemampuan unik meliputi kemampuan melakukan permesinan dan kontur

yang rumit tanpa tanda bekas permesinan, beram maupun tegangan permukaan.

Seiring dengan kebutuhan untuk mengikis permukaan lebih dalam, maka *deep etching* berkembang yang mengacu pada penggunaan asam dengan konsentrasi yang tinggi untuk mengkasarkan permukaan (*roughing*) dari spesimen metallografi [1]. Meskipun reaksi pelarutan logam pada etching basah merupakan reaksi elektro kimia alami, proses dimana sumber energi untuk reaksi larutan yang datang dari *etchant* dikenal sebagai *chemical etching* [2]. Untuk melindungi bagian dari *workpiece* (benda kerja) maka digunakan lapisan penutup dari bahan tertentu yang disebut dengan *mask* atau *resist*. Lapisan resist banyak menggunakan bahan berbasis sintetik atau karet karena mempunyai ketahanan erosi yang baik terhadap berbagai asam. Lapisan resist harus memenuhi beberapa kriteria seperti melekat dengan baik pada permukaan benda kerja, tidak ikut bereaksi saat pelarutan, mampu menahan panas yang timbul akibat etsa, mudah dihilangkan setelah selesai, dan harganya tidak mahal.

Tujuan pokok proses etching adalah untuk memperoleh permukaan akhir yang baik. Perkembangan proses etching terus berlanjut karena proses ini banyak menghadapi masalah. Larutan asam atau alkaline harus diatur untuk mengendalikan tingkatan komposisi kimia dan temperatur yang sesuai untuk proses pengikisan yang maksimal. Beberapa proses tambahan juga pernah dilakukan agar proses *etching* mendapatkan hasil yang optimum. Ban Chao Lei dkk. [3] melakukan *pre-treatment* kimiawi dengan tujuan untuk mengaktifkan permukaan aluminium foil, memfasilitasi, penyerapan, difusi serta migrasi dari Cl pada lembaran Aluminium foil ketika etsa, dan meningkatkan tingkat inisiasi lubang meta-stabil dan kepadatan lubang stabil dan terowongan, yang mengarah ke banyak peningkatan luas permukaan nyata dan kapasitansi khusus terukir Al foil Pakpum, C. dan Limsuwan, P [4] melaporkan bahwa kemampuan pengikisan bahan plasma SF<sub>6</sub> dan CF<sub>4</sub> dengan metode plasma etching untuk proses etching dengan substrat AlTiC dan lapisan *resist/mask* dari logam NiCr. Hasil eksperimen menyebutkan

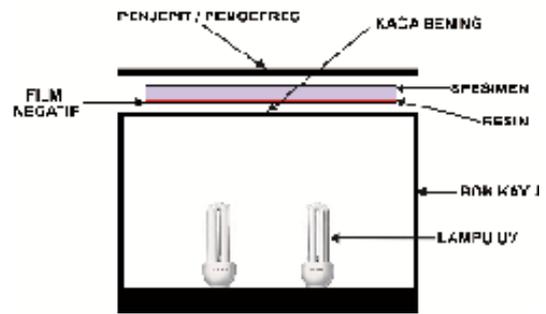
bahwa kemampuan pengikisan tertinggi pada bahan AlTiC dicapai dengan penggunaan CF<sub>4</sub> plasma pada komposisi (AlTiC(5.67): NiCr(1)) dan kecepatan pengikisan 64.77 nm/min. Kemudian plasma CF<sub>4</sub> dipilih untuk mendapatkan kemampuan pengikisan yang lebih tinggi dan energi kinetik yang lebih rendah. Hu Guofeng dkk. [5] juga melaporkan bahwa dalam proses *wet etching* pada plat AAO (*anodic aluminium oxide*) dengan menggunakan beberapa jenis *etchant*, yaitu larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, campuran asam fosfor, asam kromis, dan larutan NaOH. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> merupakan *etchant* terbaik untuk proses etching pelat AAO secara presisi dibandingkan dengan 3M larutan NaOH. Di samping itu, pada proses *wet etching* tersebut mengindikasikan bahwa massa yang hilang pada pelat AAO berbanding linier terhadap waktu etching. Lin W.G.C dkk. [6] menyatakan bahwa modifikasi pada kemampuan *etching* dengan menggunakan bahan Indium pada permukaan aluminium ternyata lebih kuat dari pada menggunakan timbal. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya kondisi suhu yang lebih rendah dan encer pada larutan In(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> dengan proses pengurangan waktu peredaman sehingga dapat mengoptimalkan kemampuan etching (*etchability*).

### 3. METODE PENELITIAN

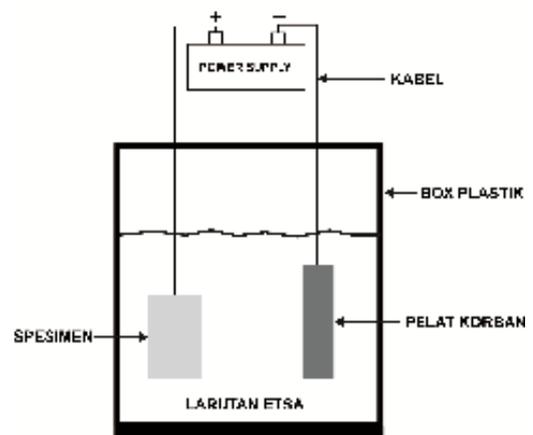
Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian pengaruh arus terhadap kualitas permukaan dan profil dinding diawali dengan memotong lembaran plat aluminium 1,5 mm dengan ukuran 2 cm x 3 cm, dan diampas pada bagian permukaan atas yang akan dilapisi *resist* menggunakan ampas dengan ukuran mesh 1000. Bagian pelat yang tidak akan dietching kemudian dicat dengan cat besi untuk melindungi agar tidak ikut terlarut. Selanjutnya dilakukan proses fotolitografi, yaitu memindahkan desain dari film ke pelat menggunakan lem Umano TZ yang telah dituangkan pada pelat dan dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Lem ulano TZ ini tidak boleh terkena sinar matahari secara langsung. Film dan pelat kemudian disusun

pada kotak press yang terdapat lampu sinar uv di dalamnya. Pelat dengan bagian yang telah terlapsi lem ulano TZ menghadap pada kaca bok dan kemudian ditekan. Proses penyinaran pelat memerlukan waktu sekitar 10 menit. Setelah penyinaran selesai maka pelat tersebut dicuci dengan air sehingga terbentuklah pola desain yang diinginkan. Skema untuk proses fotolitografi dapat dilihat pada Gambar 1. Langkah selanjutnya adalah menyiapkan bok kontainer untuk wadah larutan untuk keperluan proses *etching*. Larutan yang digunakan mempunyai komposisi garam (NaCl), *copper sulfate* ( $CuSO_4$ ) dan *aquadest* dengan perbandingan 1 : 1 : 8. Skema peralatan untuk proses *etching* dapat dilihat pada gambar 2. Selanjutnya kabel positif dan negatif dari travo dihubungkan ke anoda dan katoda (pelat korban), dan disambungkan ke batere (atau sumber arus DC lain) dengan voltage 15 Volt. Proses *etching* (pelarutan) dilakukan dengan mencelupkan pelat ke dalam larutan campuran garam, *copper sulfate* dan *aquadest*, dimana permukaan yang akan dilarutkan menghadap keatas. Proses pencelupan ini dilakukan sekitar 40 menit. Pelat yang telah selesai di-*etching* kemudian dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan cairan kimia yang masih menempel pada pelat, dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan cairan jenis pengencer untuk menghilangkan cat dan bekas lem Ulano. Urutan proses *etching* tersebut diulangi dengan berbagai variasi arus.

Kecepatan pengikisan dapat diketahui dengan cara membandingkan massa pelat sebelum pelarutan dengan massa pelat setelah pelarutan, dibagi dengan waktu yang pencelupan. Pelat yang telah di-*etching* selanjutnya diuji dengan pengujian foto mikro. Tetapi sebelumnya pelat harus dipotong menjadi 1cm x 1cm dan di-*mounting* dengan resin agar menghasilkan permukaan yang rata sehingga dapat dilihat dengan jelas dan fokus pada permukaannya dan profil dindingnya. Untuk tiap posisi maka pengujian dilakukan tiga kali agar menghasilkan data yang lebih akurat.



Gambar 1. Skema kotak untuk proses Fotolitografi



Gambar 2. Skema Eksperimen Deep Etching

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *etching* material aluminium dilakukan dengan menggunakan variasi arus listrik mulai dari tanpa arus (arus = 0) dan arus 1.6, 2.1, 3.0, 3.5, dan 5 Ampere. Adapun variabel lain dijaga konstan yaitu dengan menggunakan waktu pencelupan selama 45 menit dan dengan komposisi *etchant* sebanyak 10% ( $CuSO_4$  dan NaCl). Untuk menjaga keakuratan data maka untuk penelitian pada setiap variabel dilakukan 3 kali dan hasilnya diambil dari nilai rata-ratanya. Sebelum dilakukan eksperimen maka dilakukan perhitungan teori. Data yang diambil dari penelitian adalah kecepatan pengikisan beserta gambar profil dinding hasil proses *etching*.

### Kecepatan pengikisan

Kecepatan pengikisan (*Material Removal Rate*, *MRR*) bahan aluminium selama mengalami proses *etching* dengan variasi arus listrik dapat dihitung berdasarkan hukum Faraday sesuai persamaan (1). Untuk mendapatkan massa yang hilang selama proses *etching* maka hasil dari kecepatan pengikisan dikalikan dengan luas penampang benda dan masa jenis teoritis.

$$MRR = \frac{IM}{nFA\rho} \text{ mm/detik} \quad (1)$$

Dimana:

I = Arus listrik (A)

M = Massa rumus Al (26,98 g/mol)

A = Luas kolam/*bath* (400 mm<sup>2</sup>)

$\rho$  = Masa jenis aluminium (0,0027 g/mm<sup>3</sup>)

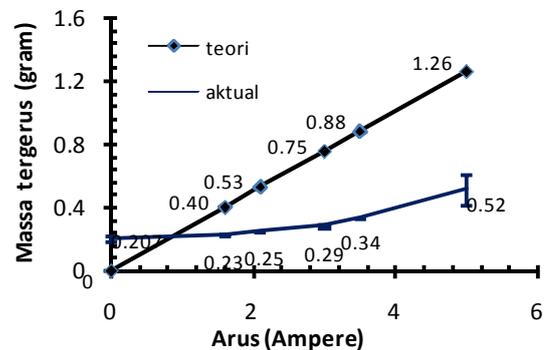
n = Elektron valensi (3)

F = Tetapan Faraday (96485 C)

t = Waktu pencelupan (45 menit)

Dari hasil eksperimen diperoleh data bahwa dengan kenaikan arus listrik yang maka menghasilkan penambahan massa yang tergerus. Hal ini sesuai dengan perhitungan teori yang didasarkan pada hokum Faraday. Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan hasil teori dan hasil sebenarnya yang diperoleh dari eksperimen. Setiap titik pada grafik proses eksperimen merupakan nilai rata-rata dari 3 tes. Hasil perbandingan keduanya menunjukkan penambahan arus berbanding lurus dengan penambahan material yang tergerus pada proses *etching* material aluminium. Pada proses *etching* yang dilakukan tanpa menggunakan arus (arus 0 Ampere) maka massa yang tergerus sebesar adalah 0,21 gram, sedangkan pada penggunaan arus listrik masing-masing dengan arus 1.6, 2.1, 3.0, 3.5, dan 5 Ampere maka massa yang tergerus masing-masing adalah 0.23, 0.25, 0.29, 0.34, dan 0,52 gram. Dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa pada perhitungan teori, peningkatan arus akan menghasilkan penambahan massa tergerus secara linier. Akan tetapi hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan arus akan menghasilkan penambahan massa tergerus

secara landai. Fenomena ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya [7].



Gambar 3. Pengaruh arus terhadap massa yang tergerus pada proses etching

### Profil dinding

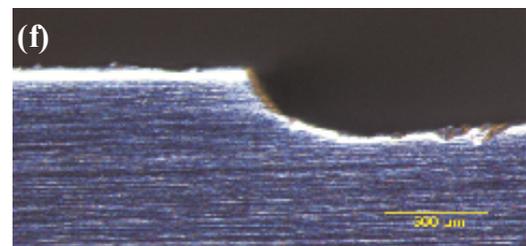
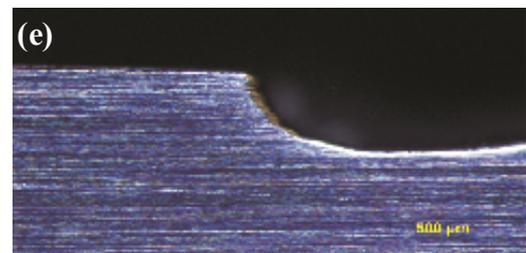
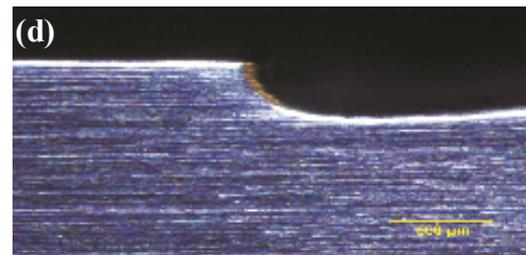
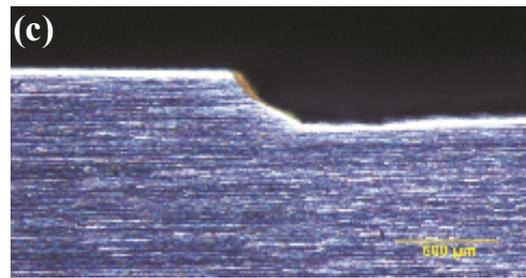
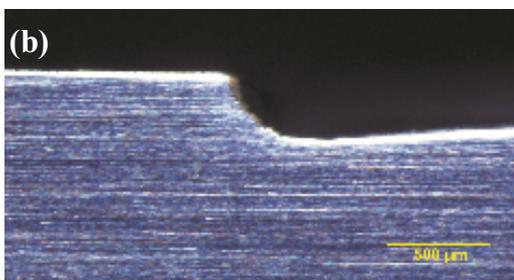
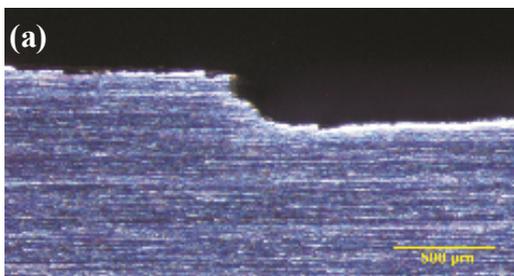
Profil dinding hasil proses *etching* diambil pada sisi bawah dan sisi samping. Gambar 4(a–f) menunjukkan foto mikro profil dinding hasil pengujian proses *etching* material aluminium dengan variasi arus 0, 1.6, 2.1, 3.0, 3.5 dan 5 Ampere. Hasil foto mikro menunjukkan bahwa proses *etching* dengan tanpa arus (0 A) maka menghasilkan kedalaman 0,269 mm. Selanjutnya dengan menggunakan arus listrik 1.6, 2.1, 3.0, 3.5, dan 5 Ampere maka telah menghasilkan kedalaman masing-masing 0.308, 0.269, 0.327, 0.481, dan 0,423 mm. Dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa penambahan arus akan mengakibatkan bertambahnya kedalaman pemakanan. Meskipun demikian hasil uji kedalaman menunjukkan bahwa permukaan hasil proses *etching* tidak rata. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, seperti komposisi material yang tidak homogen dan pengaruh gerakan benda selama proses *etching*.

Untuk profil dinding samping diperoleh data bahwa pemakanan ke arah samping tidak lurus, tetapi membentuk profil lengkung. Hal ini menunjukkan bahwa pemakanan material pada proses *etching* berhubungan dengan dengan tekanan hidrostatik air, dimana air mempunyai tekanan yang sama ke segala arah. Profil lengkung berhubungan dengan hasil tekanan yang sama dari satu titik di pusat kelengkungan. Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah semakin bertambah kedalaman benda maka kecepatan pemakanannya semakin rendah.

Kemudian dengan penggunaan variasi arus maka profil dinding samping menghasilkan bentuk dengan kecenderungan yang hampir sama.

Fenomena lain yang terjadi pada proses deep etching adalah bahwa proses pengikisan mengalami *undercut*, yaitu pemakanan dinding samping di bawah lapisan *resist*. Hal ini disebabkan karena sifat zat cair yang memenuhi penampang yang ditempatinya sehingga menyebabkan pemakanan kesegala arah yang menyebabkan terjadinya *undercut*. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [2].

Dari hasil perbandingan profil dinding bawah dan dinding samping juga diperoleh informasi bahwa pada arus 1.6 A, penggerusan material ke dinding bawah sebesar 0.308 mm sedangkan pemakanan ke dinding samping diasumsikan menurut radius kelengkungan yaitu sebesar 0,366 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pemakanan ke arah dinding bawah dan samping bersifat isotropik, yaitu kedalaman pemakanan secara vertikal dan horizontal cenderung tidak seragam. Hal ini sesuai dengan penelitian [8] yang menyebutkan bahwa proses *wet etching* cenderung isotropik.



**Gambar 5. Penampang profil dinding dengan arus (a)0, (b)1.6, (c)2.1, (d)3.0, (e)3.5 dan (f)5 Ampere**

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada proses *deep etching* dengan bahana aluminium diperoleh kesimpulan bahwa kecepatan pengikisan bahan terhadap penggunaan arus searah yang bervariasi mulai dari 0, 1.6, 2.1, 3, 3.5 dan 5 Ampere maka semakin besar arus akan mengakibatkan semakin besar massa pelat aluminium yang tergerus. Akan tetapi terdapat sedikit perbedaan tren dari hasil prediksi

menggunakan perhitungan yang didasarkan hukum Faraday dengan hasil dari eksperimen. Pada hasil perhitungan diprediksi bahwa kecepatan pengikisan akan berlangsung secara linier. Tetapi hasil eksperimen menunjukkan bahwa kecepatan pengikisan berjalan sedikit lebih lambat dan membentuk kurva yang lebih landai. Berdasarkan fotomikro pada permukaan samping juga diperoleh informasi bahwa profil kedalaman pemakanan bertambah seiring dengan penambahan arus. Sedangkan profil dinding samping membentuk kecenderungan yang sama yaitu berbentuk radius, dimana hal ini dimungkinkan oleh sifat tekanan hidrostatik dari cairan etchant.

Beberapa masalah yang belum terselesaikan pada penelitian ini perlu diperhatikan untuk diteliti lebih lanjut, diantaranya adalah bahwa proses *deep etching* yang dilakukan ini termasuk proses basah yang menggunakan larutan sehingga berakibat pada terjadinya kurang-precisian pada pemakanannya yang membentuk profil dinding samping dan bawah tidak sama atau membentuk profil radius. Penelitian lanjutan sangat disarankan dengan menggunakan proses kering yaitu dengan proses etching kering yang menggunakan plasma. Menurut literatur, proses *etching* plasma dapat menghasilkan profil yang seragam.

## 6. REFERENSI

- M. Bauhuber, A. Mikrievskij, and A. Lechner, "Isotropic wet chemical etching of deep channels with optical surface quality in silicon with HNA based etching solutions," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 16, no. 6, pp. 1428–1433, 2013.
- O. Çakır, "Chemical etching of aluminium," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 199, no. 1–3, pp. 337–340, 2008.
- C. Ban, Y. He, X. Shao, and J. Du, "Effect of pretreatment on electrochemical etching behavior of Al foil in HCl–H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 23, no. 4, pp. 1039–1045, 2013.
- C. Pakpum and P. Limsuwan, "A deep AlTiC dry etching for fabrication of Burnish and Glide slider head," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 1037–1042, 2012.
- G. Hu, H. Zhang, W. Di, and T. Zhao, "Study on Wet Etching of AAO Template," *Carbon Nanotub.*, vol. 1, no. 2, pp. 78–82, 2004.
- W. Lin, G. C. Tu, C. F. Lin, and Y. M. Peng, "The effect of lead impurity on the DC-etching behaviour of aluminum foil for electrolytic capacitor usage," *Corros. Sci.*, vol. 38, no. 9, pp. 889–907, 1996.
- N. Khamnualthong, K. Siangchaew, and P. Limsuwan, "Study of chromium hard mask formation and wall angle control for deep etching application," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 922–928, 2012.
- A. Ivanov and U. Mescheder, "Dynamic Simulation of Electrochemical Etching of Silicon," *Proceeding 2012 COMSOL*, 2012.