

Strategi Penghematan Biaya Pembuatan Peralatan Nanoelektronik yang Difabrikasi dengan Profil Data Evaporasi Aluminium

Kusnanto Mukti Wibowo¹, Gema Romadhona¹, Royan¹, Anang Widiatoro², Fatiatun³, Fatimah Nur Hidayah⁴, dan Nani Sunarmi⁵

¹Teknik Rekayasa Elektromedis, Universitas Muhammadiyah Purokerto (UMP)

Jl. KH. Ahmad Dahlan, PO BOX 202 Purwokerto 53182 Kembaran, Banyumas, Jawa Tengah

²Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Raya Sutorejo No.59, Dukuh Sutorejo, Kec. Mulyorejo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60113

³Pendidikan Fisika, Universitas Sains Al-Qur'an,

Jl. Argopeni No.Km. 03, Kalibeber, Mojotengah, Wonosobo, Jawa Tengah

⁴Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga

Jalan Raya Solo - Baki No.81C, Kwarasan, Grogol, 57552 Sukoharjo, Jawa Tengah

⁵Pendidikan Fisika, IAIN Tulunggaagung

Jl. Mayor Sujadi No.46, Kudus, Plosokandang, Kedungwaru, Jawa Timur 66221

e-mail: kusnantomuktiwibowo@ump.ac.id

Abstrak— Nanoteknologi adalah teknologi terbaru yang sangat menjanjikan untuk masa depan yang memiliki banyak aplikasi potensial dan aktual pada perangkat nanoelektronik. Namun, untuk mendapatkan manfaat pada nanoteknologi diperlukan teknologi canggih itu sendiri. Masalah utama fabrikasi perangkat nanoelectronic adalah skalanya yang kecil, area yang kecil, volume yang kecil dan konsentrasi yang rendah. Pembuatan dalam skala nano memunculkan masalah tidak hanya pada kinerja, tetapi juga biaya untuk industri elektronik. Untuk mengatasi masalah ini, kami mempelajari profil kontak logam. Kami menyajikan profil aluminium (Al) untuk mendapatkan sifat-sifat yang diharapkan dan juga efektif dalam hal biaya, karena aluminium banyak digunakan dalam banyak aplikasi elektronik seperti spintronics, sel surya, transistor film tipis, dan bahkan untuk fotokatalis. Dalam penelitian ini, Al dievaporasikan oleh thermal evaporator. Sifat struktural film Al dikarakterisasi menggunakan XRD, AFM, dan FESEM. Sifat kelistrikan dikarakterisasi menggunakan Four-point probe. Hasilnya menunjukkan peningkatan ketebalan menyebabkan penurunan resistivitas dan ukuran strain film Al serta meningkatkan biaya.

Kata kunci: *Nanomaterials, Spintronics, Sel Surya, Aluminum, Film Tipis*

Abstract—*Nanotechnology is the latest promising technology for future that has many potential and actual applications in nanoelectronic devices. However, to gain advantages on nanotechnology is required a sophisticated technology itself. The main problems of nanoelectronic device fabrication are small scale, small area, small volume and low concentration. Manufacturing in nano scale creates issues not only on performance, but also cost for the electronics industry. To overcome this problem, we studied a profiling of metal contact. We present the aluminum (Al) profiling in order to get desired properties as well as effective in cost, since aluminum is widely used in many electronic applications like spintronics, solar cell, thin film transistors, and even for photocatalyst. In this research, the Al were deposited by thermal vacuum evaporator. The structural properties of Al films were characterized using XRD, AFM, and FESEM. The electrical properties were characterized using Four-point probe. The results show increasing the thickness result in decreasing both the resistivity and the strain of the Al films as well as increasing the cost.*

Keywords: *Nanomaterials, Spintronic, Solar Cell, Aluminum, Thin Film.*

I. PENDAHULUAN

Kecenderungan miniaturisasi dan *downscaled* ke skala nano adalah tren pada perangkat nanoteknologi dan nanoelektronik saat ini. Pembuatan perangkat

nanoelektronik melibatkan banyak proses seperti deposisi film tipis, *etching*, anil, dan metalisasi. Pembuatan perangkat nanoelektronik terus meningkat sementara ukuran komponennya menyusut disertai dengan

meningkatkan tingkat kesulitan pembuatannya. Logam yang digunakan untuk metalisasi pada perangkat nanoelektronik membutuhkan sifat khusus untuk menghasilkan perangkat dengan kinerja tinggi. Misalnya, kualitas kontak logam pada film tipis mempengaruhi resistensi kontak seperti penelitian yang dilakukan oleh Periasamy dan Chakrabarti [1]. Mereka menyelidiki efek kontak logam pada film tipis ZnO. Ketika platinum (Pt) digunakan sebagai kontak pada film tipis ZnO, ia berperilaku sebagai *rectifying contact*, tetapi ternyata bersifat Ohmic ketika kontak Aluminium (Al) digunakan. Selanjutnya, Stallinga dan Gomes [2] juga membahas efek kontak logam pada karakteristik listrik pada transistor film tipis/ thin film transistor (TFT). Hasilnya menunjukkan bahwa kontak logam dari TFT menyebabkan dua efek: (i) memperbesar tegangan saluran yang dapat mencapai dalam kisaran volt dan (ii) pembentukan penghalang residual, dengan nilai yang tergantung pada gerbang bias dan diukur dalam jangkauan puluhan meV.

II. STUDI PUSTAKA

Sifat dari logam cenderung berkurang resistivitas listriknya ketika ketebalannya bertambah, sebaliknya konduktivitasnya meningkat. Logam dengan resistivitas rendah seperti perak (Ag), emas (Au), dan aluminium (Al) paling sering digunakan sebagai elektroda pada film tipis. Dibandingkan dengan logam lain, Al memiliki beberapa keunggulan seperti ringan, daya rekat yang baik pada kaca, reflektansi yang baik, dan konduktivitas listrik yang baik. Lebih jauh lagi, meskipun aluminium secara kimia sangat aktif, aluminium tidak menimbulkan korosi di udara lembab seperti pada besi. Oleh karena itu, aluminium banyak digunakan di banyak bidang mikroelektronika dan nanoteknologi seperti transistor film tipis, layar panel datar, sel surya, dan cermin optik. Selain itu, ketersediaan aluminium di bumi juga berlimpah, karena merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Al adalah senyawa logam yang berwarna putih keperakan dan titik leleh rendah 660°C [3-7].

Ada banyak metode untuk mendeposit film tipis logam pada substrat, seperti sputtering, *thermal vacuum evaporation*, *electron beam-evaporation*, *atomic layer deposition (ALD)*, and *chemical vapour deposition (CVD)*. *Thermal vacuum evaporation* biasanya paling sering digunakan untuk mendeposit film logam karena memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan metode lain, seperti menghasilkan kemurnian film yang tinggi, kerusakan substrat yang lebih sedikit, sederhana/simple dan hemat biaya. Dalam penelitian ini, kami menyajikan profil Al dengan metode *thermal vacuum evaporation* untuk kontak logam dan dianalisis dalam hal biaya. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk banyak aplikasi tergantung pada tujuannya [8-12].

III. METODE

Thermal vacuum evaporator (Model: Ulvac Kiko VPC-061) digunakan untuk mendeposisi film Al pada substrat. Sebelum deposit dilakukan, pertama-tama substrat kaca dibersihkan secara ultrasonik dengan aseton dan kemudian dibilas dengan air deionisasi (*DI water*) selama 15 menit

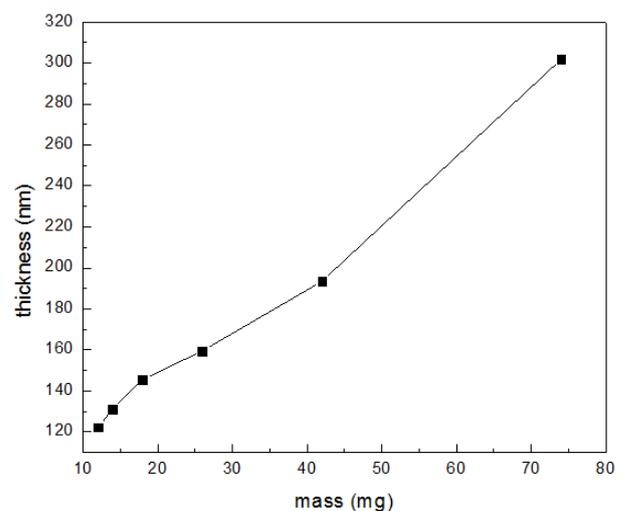
untuk menghilangkan kontaminasi. Kemudian, gas nitrogen digunakan untuk mengeringkan substrat.

Logam Aluminium berbentuk kawat dengan kemurnian tinggi sebesar 99,99% dari Kurt J. Lesker digunakan sebagai target. Al target kemudian ditempatkan di dalam tungsten *boat* di ruang vakum. Kondisi deposisi dilakukan dalam kondisi vakum dengan tekanan dasar sekitar $\sim 10^{-3}$ Pa. *Current supply* kemudian dihidupkan dan arus dinaikkan secara bertahap dari 0 hingga 35 Ampere, hingga menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan Al. Al akan menguap setelah suhu mencapai $\geq 600^{\circ}\text{C}$. Waktu pendepositan dilakukan dalam waktu 2 menit. Ada enam sampel yang digunakan dalam percobaan ini, yaitu S1 - S6. Sampel 1 atau S1 menggunakan massa target terkecil 12 mg, dan S2, S3, hingga S6 masing-masing adalah 14, 18, 26, 42, dan 74 mg.

Ketebalan film diukur dengan menggunakan alat *surface profiler*. Sifat listrik dari film dianalisis menggunakan Probe 4Point (Model: Lucas Labs Pro4). Pencitraan SEM dari film Al dilakukan dengan FE-SEM, Model: JEOL JSM-7600F. Sifat struktural juga dianalisis dengan menggunakan sistem difraksi sinar-X (XRD, Model: Panalytical X'Pert3 Powder) dengan sumber radiasi $\text{Cu-K}\alpha 1$, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$. Analisis kristalografi dan fase puncak dilakukan dengan perangkat lunak HighScore plus. Morfologi permukaan sampel dilakukan menggunakan sistem AFM, Model: XE-100 Park Series.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aluminium dengan kemurnian tinggi (99,99%) didepositkan pada substrat kaca dengan penguapan termal. Percobaan awal adalah untuk mengetahui korelasi antara massa dan ketebalan film Al yang didepositkan dengan metode penguapan termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan film Al meningkat dengan meningkatnya massa Al yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Profil ketebalan memberikan data bagaimana mendapatkan ketebalan tertentu dengan jumlah tertentu dari kawat Al.



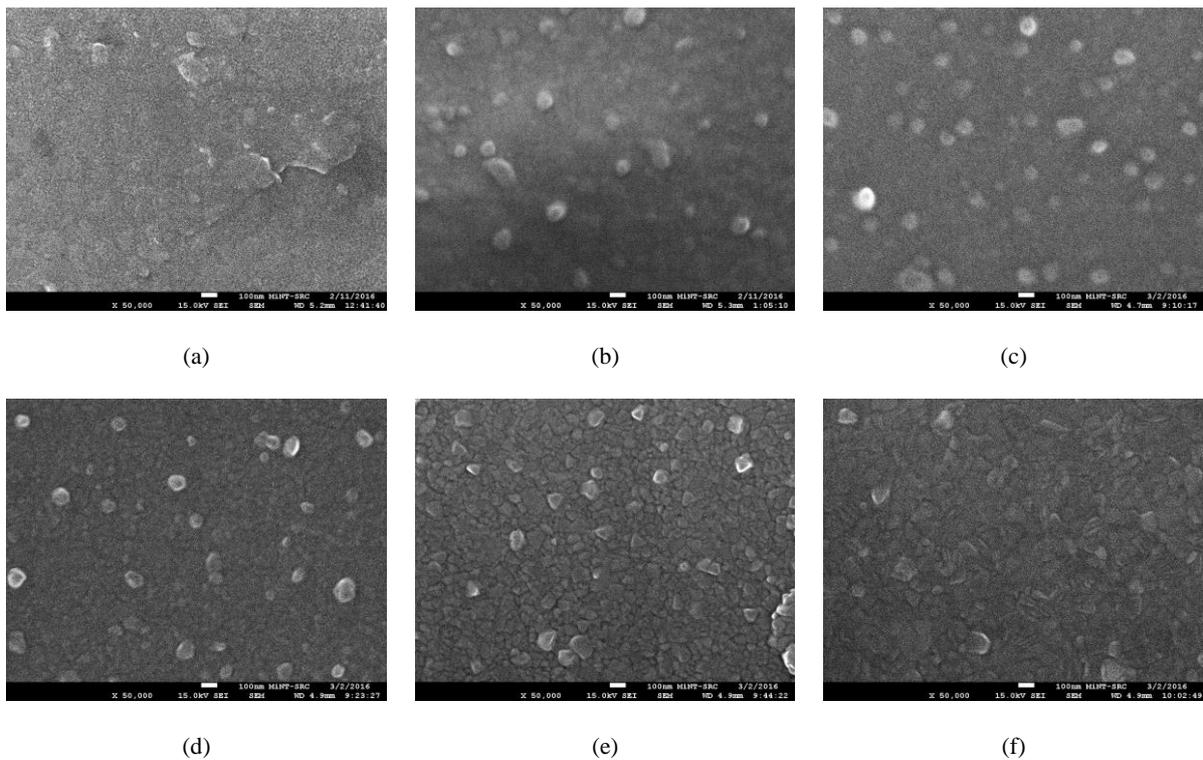
Gambar 1. Ketebalan film tipis Al pada substrat kaca sebagai fungsi masa.

Tabel 1. Data resistivitas data dari film tipis aluminum dengan ketebalan yang berbeda

Sampel Al	Ketebalan (nm)	Resistivitas ($\Omega.cm$)	Biaya	
			MYR	USD
S1	122.28	237.40×10^{-6}	4.92	1.08
S2	131.12	13.25×10^{-6}	5.33	1.17
S3	145.56	12.69×10^{-6}	6.97	1.53
S4	159.58	8.58×10^{-6}	10.25	2.26
S5	193.46	5.42×10^{-6}	16.40	3.61
S6	301.71	4.35×10^{-6}	28.71	6.32

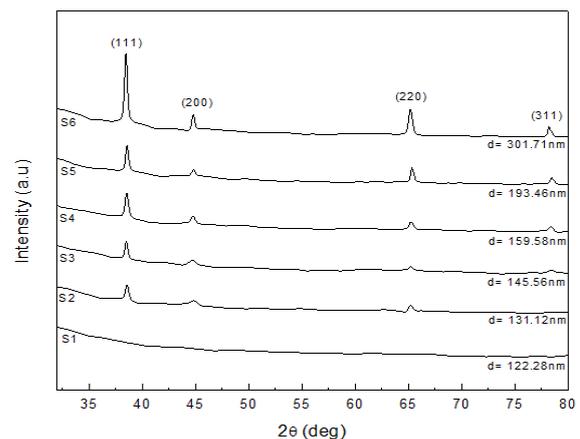
*1 MYR = 0.2195 USD

Alumunium adalah logam yang dikenal memiliki konduktivitas listrik yang baik. Resistivitas film Al jelas mengalami penurunan dengan meningkatnya ketebalan film seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai resistivitas film Al yang diperoleh dari percobaan ini hampir sama dengan resistivitas listrik Al murni $2,8 \times 10^{-6} \Omega.cm$, hal ini karena penggunaan alumunium dengan kemurnian tinggi. Dari Tabel 1, dapat dilihat untuk mendapatkan ketebalan sekitar 122 nm dibutuhkan biaya sekitar RM 4.9. Biaya akan terus meningkat, seiring dengan meningkatnya ketebalan film. Karena penggunaan kontak logam pada perangkat nanoelektronik tergantung pada tujuan, ketebalan logam dapat diatur sesuai hasil yang diinginkan.



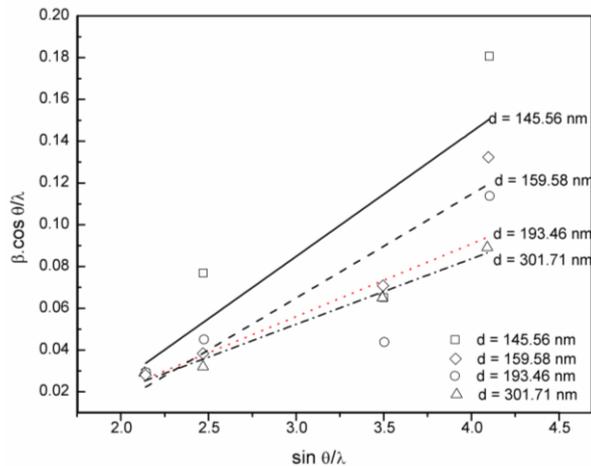
Gambar 2. Gambar FE-SEM dari film Al yang dideposit menggunakan evaporasi termal (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3, (d) sampel 4, (e) sampel 5, and (f) sampel 6

Gambar 2 menunjukkan gambar FE-SEM dari film Al. Secara umum, gambar FE-SEM dari film Al yang didepositkan menggunakan evaporator termal-vakum rendah pada substrat kaca menunjukkan struktur yang homogen. Metode deposisi uap fisik (*physical vapor deposition*) yang memungkinkan bahan untuk menempel pada substrat, secara fisik menghasilkan gambar/pencitraan yang baik dari struktur Al dimana ada rongga (*void*) yang memisahkan butiran kristal dapat dengan jelas diamati. Namun, pada sampel tertipis menunjukkan permukaan yang tidak berbukit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Terlebih lagi, dapat dilihat bahwa peningkatan ketebalan film menghasilkan peningkatan ukuran *grain*/ butirnya.

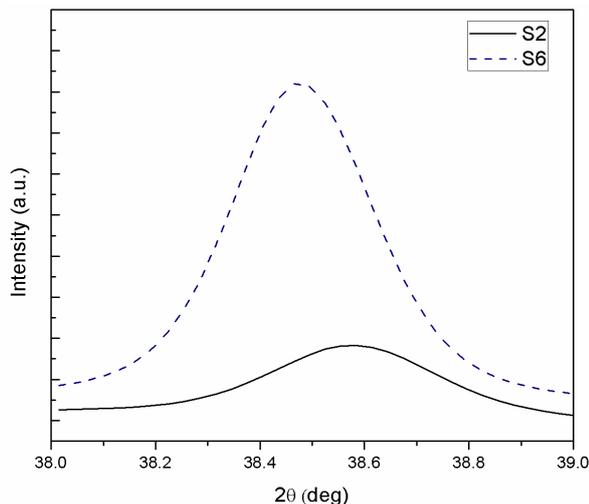


Gambar 3. Hasil XRD dari film Al yang dievaporasikan pada substrat kaca dengan berbagai ketebalan

Data XRD film Al dengan ketebalan yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3. Intensitas puncak Al (111) meningkat dengan meningkatnya ketebalan film Al. Meningkatnya intensitas puncak XRD diyakini karena *strain* pada film. Sampel 1 yang hanya memiliki ketebalan 122 nm tidak menunjukkan puncak yang dikaitkan dengan struktur kristal. Sampel ini diketahui sebagai struktur amorf. Hal ini diyakini karena ketebalan film cukup tipis, sehingga ketika sinar-x ditembakkan ke sampel, ia melewati sampel menembus ke substrat (kaca).



Gambar 4. Plot dari *strain* dengan metode Williamson-Hall dari film Al pada substrat kaca



Gambar 5. Puncak XRD dari film Al bergeser ke sudut yang lebih rendah

Penting juga untuk mengetahui kekuatan elastis film untuk mendapatkan perangkat nanoelectonik yang berkualitas tinggi. Kuat tegang film dapat dihitung dari data XRD. Dari data XRD, d-spacing, lebar penuh setengah-maksimum (FWHM), dan ukuran kristal dari pengukuran data XRD, efek dari regangan (ϵ) dapat dihitung dengan persamaan (Williamson-Hall method) [13-14].

$$\beta \left(\frac{\cos\theta}{\lambda} \right) = \frac{1}{L} + \epsilon \left(\frac{\sin\theta}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Dimana β adalah FWHM yang terukur (radians), θ adalah sudut Bragg dari puncak, λ adalah Panjang gelombang difraksi sinar-X, dan L adalah ukuran kristal.

Gambar 4 menunjukkan plot grafik dari $\beta \cos \theta/\lambda$ dengan $\sin \theta/\lambda$ pada film Al yang dideposit pada substrat kaca. Kemiringan/slope garis yang diperoleh menunjukkan adanya regangan pada kristal Al. Dapat disimpulkan, peningkatan ketebalan film tipis mengakibatkan penurunan regangan film, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini juga didukung oleh data dari XRD yang menunjukkan pergeseran puncak ke sudut yang lebih rendah (Gambar 5) seiring dengan meningkatnya ketebalan dari film. Pergeseran ini diyakini karena regangan yang dihasilkan dari kesalahan planar dan tekanan internal.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan studi profil kontak aluminium yang dideposisi menggunakan evaporator termal untuk membuat penghematan biaya pada fabrikasi perangkat nanoelectonik. Semakin tebal ukurannya, maka akan menghasilkan nilai resistivitas yang lebih kecil, tetapi semakin tinggi biayanya pula. Dengan meningkatnya ketebalan, resistivitas berubah dan sifat struktural seperti kekasaran dan ukuran kristal film juga berubah. Namun, film Al tertipis menunjukkan permukaan yang tidak seragam dan memiliki reflektansi yang rendah serta memiliki resistansi yang tinggi.

REFERENSI

- [1] C. Periasamy and P. Chakrabarti, "Structural and electrical properties of metal contacts on n-type ZnO thin film deposited by vacuum coating technique," J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanom. Struct., vol. 27, no. 5, pp. 2124–2127, 2009.
- [2] P. Stallinga and H. L. Gomes, "Metal contacts in thin-film transistors," Org. Electron. physics, Mater. Appl., vol. 8, no. 4, pp. 300–304, 2007.
- [3] I. Lindseth, A. Bardal, and R. Spooren, "Reflectance measurements of aluminium surfaces using integrating spheres," Opt. Lasers Eng., vol. 32, no. 5, pp. 419–435, 1999.
- [4] H. Chinnam, Krishna Chytanya, Gupta, Swasti and Gleskova, "Aluminium Oxide Prepared by UV/Ozone Exposure for Low-Voltage Organic Thin-Film Transistors," J. Non. Cryst. Solids, vol. 358, no. 17, pp. 2512–2517, 2012.
- [5] J. Sarkar, S. Saimoto, B. Mathew, and P. S. Gilman, "Microstructure, texture and tensile properties of aluminum-2 at.% neodymium alloy as used in flat panel displays," J. Alloys Compd., vol. 479, pp. 719–725, 2009.
- [6] M. G. Faraj, K. Ibrahim, M. H. Eisa, and M. A. Alrajhi, "Comparison of Aluminium Thin Film Deposited on Different Polymer Substrates with Thermal Evaporation for Solar Cell Applications," J. Ovoic Res., vol. 10, no. 6, pp. 231–235, 2014.
- [7] R. Almanza, P. Hernández, I. Martínez, and M. Mazari, "Development and mean life of aluminum first-surface mirrors for solar energy applications," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 93, no. 9, pp. 1647–1651, 2009.
- [8] Y.-Q. Xiong, X.-C. Li, Q. Chen, W.-W. Lei, Q. Zhao, L.-J. Sang, Z.-W. Liu, Z.-D. Wang, and L.-Z.

- Yang, "Characteristics and properties of metal aluminum thin films prepared by electron cyclotron resonance plasma-assisted atomic layer deposition technology," *Chinese Phys. B*, vol. 21, no. 7, p. 078105, 2012.
- [9] A. Ziani, F. Delmotte, C. Le Paven-Thivet, E. Meltchakov, A. Jérôme, M. Roulliay, F. Bridou, and K. Gasc, "Ion beam sputtered aluminum based multilayer mirrors for extreme ultraviolet solar imaging," *Thin Solid Films*, vol. 552, pp. 62–67, 2014.
- [10] K. M. Wibowo, M. Z. Sahdan, M. T. Asmah, H. Saim, F. Adriyanto, Suyitno, and S. Hadi, "Influence of Annealing Temperature on Surface Morphological and Electrical Properties of Aluminum Thin Film on Glass Substrate by Vacuum Thermal Evaporator," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 226, p. 012180, 2017.
- [11] N. Maiti, a. Biswas, R. B. Tokas, D. Bhattacharyya, S. N. Jha, U. P. Deshpande, U. D. Barve, M. S. Bhatia, and a. K. Das, "Effects of oxygen flow rate on microstructure and optical properties of aluminum oxide films deposited by electron beam evaporation technique," *Vacuum*, vol. 85, no. 2, pp. 214–220, 2010.
- [12] X. Multone, Y. Luo, and P. Hoffmann, "Er-doped Al₂O₃ thin films deposited by high-vacuum chemical vapor deposition (HV-CVD)," *Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol.*, vol. 146, pp. 35–40, 2008.
- [13] H.-L. Chen, Y.-M. Lu, and W.-S. Hwang, "Effect of Film Thickness on Structural and Electrical Properties of Sputter-Deposited Nickel Oxide Films," *Mater. Trans.*, vol. 46, no. 4, pp. 872–879, 2005.
- [14] B. H. Hwang and S. Y. Chiou, "An XRD study of highly textured HfN films," *Thin Solid Films*, vol. 304, no. 1, pp. 7–14, 1997.