

## PREPARASI DAN KARAKTERISTISI LAPISAN TIPIS TiN PADA SUBSTRAT KACA HASIL DARI METODE SPUTTERING DC

### PREPARATION AND CHARACTERISTICS OF THIN FILMS OF TITANIUM NITRIDA (TiN) ON SUBSTRATE GLASS RESULTS FROM DC SPUTTERING METHOD

Oleh: <sup>1</sup>Nurfitriyana ramadhani isnuwati, <sup>2</sup>Ariswan, <sup>3</sup>Tjipto sujitno

<sup>1,2</sup>Jurusan Fisika FMIPA UNY, <sup>3</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselelator BATAN Yogyakarta

fitriyana.ramadhani@gmail.com

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat lapisan tipis TiN pada substrat kaca menggunakan metode *sputtering DC* dan karakterisasinya terhadap sifat optik menggunakan UV-Vis, morfologi dan komposisi kimia menggunakan SEM-EDS, dan struktur kristal menggunakan X-RD. Preparasi tersebut dilakukan sebanyak tiga kali dengan memvariasi waktu pendeposisian selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Selain itu, perbandingan antara gas Argon dan Nitrogen yang dialirkan sebesar 70:30. Hasil uji UV-Vis diperoleh band gap untuk waktu deposisi 30 menit sebesar 3,47 eV, 60 menit sebesar 3,59 eV, dan 90 menit sebesar 3,68 eV. Hasil uji SEM diperoleh ketebalan lapisan yang terbentuk pada waktu deposisi 60 menit sebesar 1,588  $\mu\text{m}$ . Dan hasil uji EDS diperoleh presentase berat Ti sebesar 13,6%, N sebesar 51,8%, dan Si sebesar 34,6%. Hasil uji XRD lapisan TiN yang terbentuk pada substrat kaca masih terlalu tipis, sehingga sinar-X menembus lapisan dan mengenai substrat kaca yang bersifat amorf.

*Kata kunci: TiN, sputteing DC, UV-Vis, SEM-EDS, XRD*

#### Abstract

The aim of this research is to make TiN thin layer on glass substrate using DC sputtering method and its characterization to optical properties using UV-Vis, morphology and chemical composition using SEM-EDS, and crystalline structure using X-RD. The preparation was performed three times by varying the pacing time for 30 minutes, 60 minutes, and 90 minutes. In addition, the ratio between Argon and Nitrogen gas is 70:30. UV-Vis test results obtained band gap for 30 minutes deposition time of 3.47 eV, 60 minutes of 3.59 eV, and 90 minutes of 3.68 eV. SEM test results obtained layer thickness formed at 60 minutes deposition time of 1.588  $\mu\text{m}$ . And the results of EDS test obtained weight percentage of Ti by 13.6%, N by 51.8%, and Si by 34.6%. The TiN XRD test results on the glass substrate is still too thin, so the X-rays penetrate the layer and about the amorphous glass substrate

*Keywords: TiN, sputteing DC, UV-Vis, SEM-EDS, XRD*

## PENDAHULUAN

Titanium Nitrida (TiN) merupakan salah satu bahan semikonduktor dengan jenis konduktivitas tipe-n yang dihasilkan dari paduan golongan IIIA dan VA. Sifat lain dari TiN yaitu memiliki resistivitas yang rendah, pada batas *visible* memiliki transmisi yang tinggi, dan pada daerah *infrared* memiliki reflektansi yang tinggi (Solovan, 2014: 40). Pada bidang elektronika lapisan tipis TiN banyak diaplikasikan pada

piranti elektronik, dielektrik dan bahan pizoelektrik. Lapisan tipis TiN dapat juga digunakan untuk pelapisan peralatan mekanik maupun peralatan kedokteran karena sifatnya tahan terhadap korosi dan memiliki kekerasan yang baik sehingga dapat meningkatkan kualitas sifat permukaan logam. Selain itu, dapat dimanfaatkan sebagai “*diffusion barrier*” untuk kontak dengan silikon dalam industri (Hariyanto dkk, 1999: 47). Paduan titanium nitrida banyak

digunakan karena keunggulannya pada sifat mekanik dan kimia, bahan TiN memiliki nilai kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi dan aus yang sangat bagus (Salahudin, 2014: 108).

Teknik plasma *sputtering* merupakan pengembangan dari teknik *coating* yang sering digunakan untuk mendeposisikan atom-atom bahan target hasil percikan pada permukaan suatu substrat. Keunggulan teknik *sputtering* dibandingkan dengan teknik *coating* adalah bahan yang akan dideposisikan tidak harus dipanaskan sampai meleleh. Hal tersebut sangat berguna untuk mendeposisikan bahan dengan titik leleh tinggi (Siswanto, 2011: 110). Selain itu, hasil dari *sputtering* akan melekat lebih kuat karena atom-atomnya dapat masuk lebih dalam pada permukaan substrat (Wirjoadi dkk, 2009: 1).

Pada penelitian ini, dilakukan preparasi lapisan tipis dengan menerapkan salah satu teknologi fabrikasi yaitu *Physical Vapour Deposition* (PVD). Penelitian ini akan membuat lapisan tipis paduan antara logam titanium dan gas nitrogen untuk membentuk TiN dengan metode *sputtering DC* yang akan ditumbuhkan pada substrat kaca (Si). Selain itu, pembuatan lapisan tipis TiN tersebut akan divariasikan pada lama waktu pendeposisian. Tujuan dari variasi waktu pendeposisian, diharapkan dapat mengetahui sifat optik berupa *band gap*, morfologi dan komposisi kimia yang terkandung pada lapisan, dan struktur kristal.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan meliputi, preparasi lapisan tipis, proses pendeposisian, dan karakteristik hasil deposisi.

## Waktu dan Tempat Penelitian

### 1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan November 2017 hingga Juni 2018.

### 2. Tempat Penelitian

- a. Tahap preparasi pembentukan lapisan tipis TiN dengan metode *sputtering DC* dilaksanakan di Laboratorium Fisika Partikel PSTA -BATAN Yogyakarta.
- b. Tahap karakteristik untuk mengetahui nilai transmitansi dari lapisan tipis TiN dengan menggunakan UV-Vis dilaksanakan di Laboratorium Kimia PSTA – BATAN Yogyakarta.
- c. Untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia dari lapisan tipis TiN dengan menggunakan SEM-EDS dilaksanakan di PT CMM Serpong.
- d. Untuk mengetahui struktur kristal dari lapisan tipis TiN dengan menggunakan XRD dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Yogyakarta.

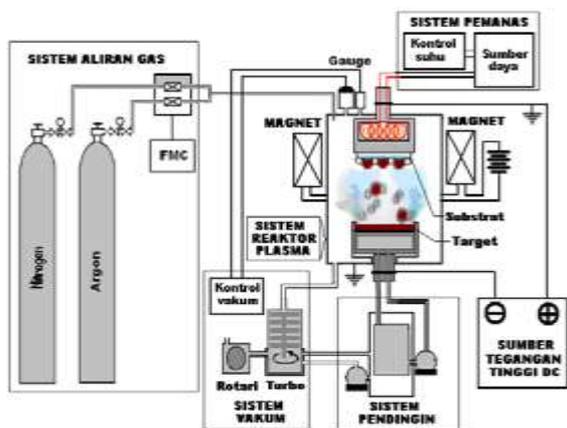
## Prosedur

Bahan kaca pada penelitian ini digunakan sebagai substrat. Sebelumnya substrat kaca dipotong dengan ukuran (10 x 10 x 1) mm kemudian dicuci dengan *ultrasonic cleaner* sebanyak dua tahap yang masing-masing dilakukan selama kurang lebih 30 menit. Tahap pertama dibersihkan dengan campuran air dan sabun, sedangkan tahap kedua dibersihkan dengan alkohol. Selanjutnya substrat dikeringkan dengan bantuan *hair dryer*.

Target *sputtering* berupa titanium murni argon sebagai gas *sputter* dan nitrogen sebagai

gas reaktif agar terbentuk lapisan TiN. Preparasi dilakukan sebanyak tiga kali dengan memvariasi waktu pendoposisian pada proses *sputtering*. Variasi dilakukan untuk menghasilkan preparasi lapisan yang dideposisi selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit, tegangan operasi berkisar 4 kV, arus 10 mA, tekanan vakum 2,0E-2 Torr, perbandingan antara gas Argon dan Nitrogen 70:30, dan jarak target dengan substrat 4 cm.

Proses *sputtering* dengan menghidupkan sumber tegangan tinggi DC ketika tekanan sistem telah mencapai  $10^{-4}$  Torr. Kemudian alirkan gas Argon dan Nitrogen ke tabung reaktor dengan laju aliran gas diatur menggunakan *flow meter*. Perbandingan untuk aliran kedua gas tersebut yaitu 70:30. Naikkan tegangan hingga 4 kV dengan arus 10 mA dan proses *sputtering* telah berlangsung. Lakukan pendoposisian selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit,. Skema alat DC Sputtering disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema alat *sputtering* DC

**Teknik Analisis Data**

1. Karakterisasi sifat optik

Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800 dengan panjang gelombang 300 – 1100 nm. UV-Vis digunakan untuk mendapatkan data transmitansi untuk menentukan lebar celah energi pada lapisan tipis TiN.

Penentuan lebar celah energi semikonduktor menentukan sejumlah sifat fisis seperti mobilitas pembawa muatan, kerapatan pembawa muatan, spektrum absorpsi, dan spektrum luminisensi<sup>[10]</sup>.

Nilai transmiansi (T) merupakan perbandingan antara intensitas yang diteruskan ( $I_T$ ) dan intensitas cahaya datang ( $I_0$ ), sehingga dapat ditulis sebagai persamaan :

$$T = \frac{I_T}{I_0} \tag{1}$$

Jika berkas cahaya dilewatkan pada suatu material transparan maka cahaya yang ditransmisikan semakin lama semakin berkurang (Solovan dkk, 2014: 40). Berdasarkan hukum Lambert – Beer, banyaknya cahaya yang ditransmisikan dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$I_T = I_0 e^{-\alpha d} \tag{2}$$

Dengan  $\alpha$  disebut koefisien absorpsi dan d merupakan ketebalan lapisan. Jika persamaan 2 dimasukkan pada persamaan 1, maka persamaan tersebut menjadi :

$$\begin{aligned} T &= \frac{I_0 e^{-\alpha d}}{I_0} \\ T &= e^{-\alpha d} \\ \ln T &= -\alpha d \\ \alpha &= \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

Semikonduktor dengan celah pita energi langsung memiliki hubungan antara koefisien absorpsi terhadap frekuensi foton yang memenuhi persamaan (Abdullah dan Khairurrijal, 2009: 108):

$$\alpha = B \frac{\sqrt{h\nu - E_g}}{h\nu} \tag{4}$$

dengan  $h\nu$  merupakan energi foton,  $E_g$  merupakan lebar pita energi, dan B merupakan sebuah konstanta. Menggunakan rumusan :

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda} \approx \frac{1240}{\lambda} \quad (5)$$

Untuk rumusan pada persamaan 3 digunakan nilai ketebalan (d) rata-rata pada permukaan sampel lapisan dan untuk persamaan 4 dapat ditulis ulang sebagai :

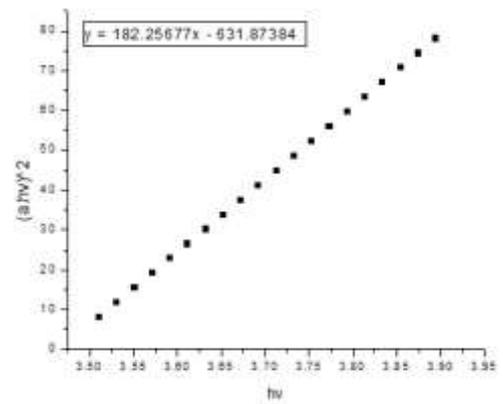
$$(\alpha h\nu)^2 = B^2 (h\nu - E_g) \quad (6)$$

Dari nilai  $\alpha$  yang diperoleh dari pengukuran transmitansi, dapat di plot dalam bentuk grafik dengan sumbu vertikal adalah  $(\alpha h\nu)^2$  dan sumbu mendatar  $h\nu$ . Potongan kurva dengan sumbu mendatar merupakan nilai *band gap* pada bahan dan kemiringan garis lurus *fitting* adalah  $B^2$ .

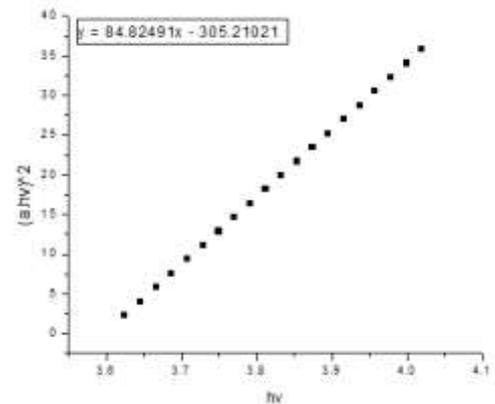
Pada persamaan 6, didapatkan nilai dari *band gap* merupakan hasil perpotongan antara nilai  $(\alpha h\nu)^2$  dan  $h\nu$  jika nilai dari  $(\alpha h\nu)^2 = 0$ . Setelah mendapatkan grafik atau kurva  $(\alpha h\nu)^2$  sebagai fungsi energi maka dari grafik tersebut dapat diolah dengan cara ekstrapolasi data dengan mem-*fitting* linier. Hasil dari *fitting* linier tersebut akan didapatkan persamaan gradient pada garis lurus sebagai :

$$y = mx + c \quad (7)$$

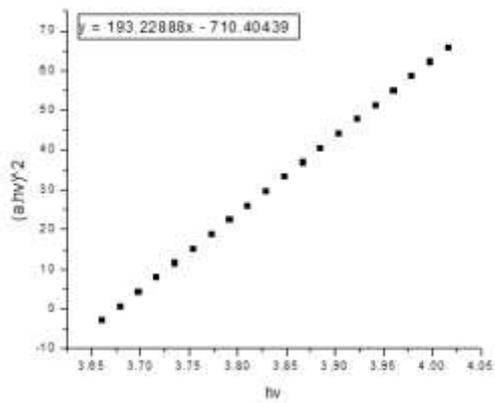
Jika pada persamaan 15 nilai  $y = 0$  maka akan didapat nilai  $x = -c/m$  yang tidak lain adalah nilai dari *band gap*.



Gambar 2. Grafik nilai *band gap* pada waktu pendeposisian 30 menit



Gambar 3. Grafik nilai *band gap* pada waktu pendeposisian 60 menit

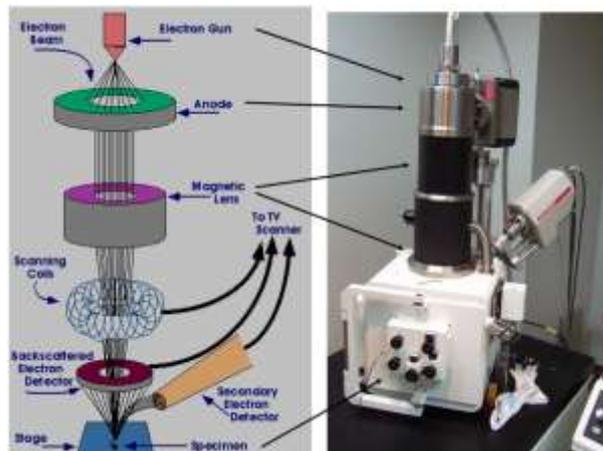


Gambar 4. Grafik nilai *band gap* pada waktu pendeposisian 90 menit

## 2. Karakterisasi menggunakan SEM-EDS.

SEM merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengarakterisasi morfologi permukaan suatu sampel dan pada

perkembangannya SEM dapat digunakan untuk mengetahui ketebalan suatu lapisan tipis. Prinsip kerja SEM yaitu berkas elektron dihasilkan oleh *electron gun* dan dipercepat dengan anoda menuju lensa magnetik agar elektron dapat terfokuskan menuju sampel. Sinar elektron yang terfokuskan akan memindai sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Sinar elektron yang menyapu permukaan sampel dalam daerah sangat kecil, dan saat elektron berinteraksi dengan sampel akan menghasilkan elektron baru yang disebut sebagai *secondary electron*. Elektron sekunder yang terdeteksi akan diperkuat sinyalnya, kemudian besarnya amplitudo ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *Cathode RayTube (CRT)*. Pada layar CRT inilah gambar dari struktur permukaan sampel yang telah diperbesar dapat dilihat. Gambar tersebut merupakan informasi dari morfologi permukaan sampel yang tersapu oleh elektron (Febriani, 2015). Sinyal yang dihasilkan dari detektor sangat berpengaruh dengan intensitas cahaya yang berada dalam tabung monitor. Hal itu dikarenakan, jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Ditinjau dari jalannya berkas media, proses SEM dapat dianalogikan sebagai mikroskop optik metalurgi yang menggunakan prinsip reflektansi. Hal ini dapat diartikan dalam prosesnya permukaan sampel akan memantulkan berkas media.



**Gambar 5. Perangkat SEM dan EDS**

Agar mendapatkan informasi mengenai komposisi kimia yang terkandung dalam sampel, dapat dilakukan dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometry (EDS)* yang merupakan kelanjutan dari SEM. Prinsip kerja EDS yaitu jika terdapat elektron yang berinteraksi dengan sampel akan ada kemungkinan untuk elektron tersebut dihamburkan oleh elektron lainnya yang mengelilingi inti atom sampel, sehingga terjadi kekosongan dan akan diisi oleh elektron dari kulit luar. Elektron yang terhambur disebut sebagai *Backscattered Electrons (BSE)*. Elektron pada kulit luar memiliki energi yang lebih besar, sehingga pada saat elektron berpindah menuju orbit dengan energi rendah maka elektron tersebut akan melepaskan energi berupa foton. Foton atau yang dikenal juga sebagai sinar-X yang dipancarkan memiliki energi yang spesifik sebagai informasi dari nomor atom dan juga kandungan pada sampel (Sujatno, 2015: 46-47).

### 3. Karakterisasi XRD

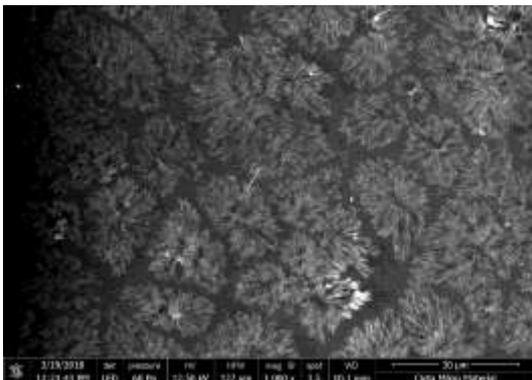
Data hasil karakterisasi yang diperoleh dari analisis struktur kristal dengan X-RD berupa difraktogram. Difraktogram merupakan grafik yang menunjukkan intensitas sebagai fungsi dari sudut difraksi ( $2\theta$ ) dan hasilnya kemudian dibandingkan dengan data JCPDS (*Join*

Committee on Powder Diffraction Standard). Hasil dari perbandingan tersebut akan diperoleh bidang-bidang *hkl* dari bahan sampel.

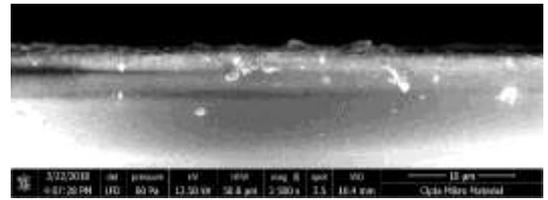
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Lapisan tipis TiN telah berhasil ditumbuhkan dengan baik pada substrat kaca dengan variasi waktu deposisi 30, 60, dan 90 menit. Lapisan yang terbentuk diatas kaca berwarna kuning keemasan. Dengan menggunakan persamaan 6 diperoleh nilai bandgap yang disajikan pada gambar 2 s/d 4.

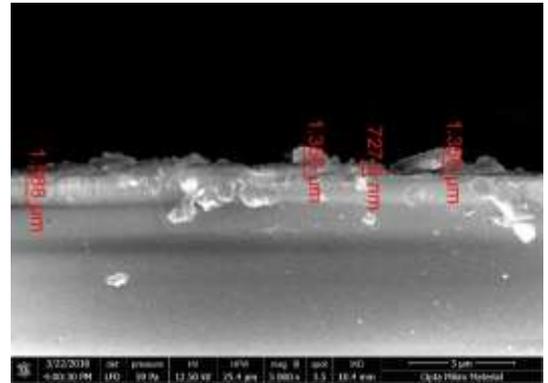
Hasil dari SEM berupa citra pada permukaan sampel dan penampang melintang. Gambar 6 merupakan hasil citra pada permukaan sampel dengan perbesaran 1000 kali. Gambar 7 merupakan hasil dari citra pada morfologi penampang melintang dengan perbesaran 5000 kali. Pada hasil citra penampang melintang, juga dapat dilihat ukuran ketebalan lapisan TiN yang menempel pada sampel. Gambar 8 menginformasikan hasil citra ketebalan sampel lapisan TiN yang diperoleh pada waktu deposisi 60 menit yaitu 1,588 mikrometer.



**Gambar 6.** Hasil citra permukaan lapisan TiN dengan waktu deposisi 60 menit



**Gambar 7.** Hasil citra penampang melintang lapisan TiN dengan waktu deposisi 60 menit



**Gambar 8.** Hasil citra ketebalan lapisan TiN dengan waktu deposisi 60 menit

Hasil karakterisasi menggunakan EDS didapatkan berbagai atom yang tercampur didalam lapisan tersebut. Terdapat atom Ti, N, dan Si pada hasil EDS menandakan bahwa target TiN dapat melapisi substrat berupa kaca dengan metode *sputtering DC*. Diketahui presentase berat atom N sebesar 51,8%, berat atom Si sebesar 34,6%, dan berat atom Ti sebesar 13,6%.

Dari hasil karakterisasi menggunakan XRD diperoleh grafik  $2\theta$  tanpa munculnya puncak-puncak intensitas yang berarti sampel lapisan masih bersifat amorf. Hal tersebut kemungkinan dapat disebabkan karena lapisan TiN yang terbentuk pada substrat kaca masih terlalu tipis, sehingga sinar-X menembus lapisan dan mengenai substrat kaca yang bersifat amorf.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan telah dapat dihasilkan paduan antara titanium dan gas nitrogen menjadi lapisan tipis TiN yang

dideposisikan pada substrat kaca hasil preparasi dari metode sputtering DC dengan bervariasi waktu selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil dari karakterisasi sifat dengan uji UV-Vis. Pada sampel lapisan tipis TiN dengan lama waktu pendeposisian 30 menit didapatkan nilai *band gap* sebesar 3,47 eV, 60 menit sebesar 3,59 eV, dan 90 menit sebesar 3,68 eV. Hasil dari karakterisasi morfologi permukaan lapisan tipis TiN yang dikenai untuk sampel dengan lama waktu deposisi 60 menit menggunakan SEM dapat dilihat pada gambar 6, 7, dan 8, pada gambar tersebut dijelaskan pula ketebalan lapisan yang terbentuk sebesar 1,588 mikrometer. Untuk hasil karakterisasi komposisi kimia yang terkandung pada lapisan tipis TiN diperoleh presentase berat Ti sebesar 13,6%, N sebesar 51,8%, dan Si sebesar 34,6%. Tidak dapat ditentukan struktur kristal pada ketiga sampel lapisan tersebut dengan menggunakan XRD. Hal tersebut kemungkinan dapat disebabkan karena lapisan TiN yang terbentuk pada substrat kaca masih terlalu tipis, sehingga sinar-X menembus lapisan dan mengenai substrat kaca yang bersifat amorf.

### Saran

Pada penelitian selanjutnya, bisa melakukan preparasi lapisan tipis TiN dengan waktu deposisi lebih lama agar lapisan yang terbentuk pada substrat lebih tebal sehingga memudahkan dalam karakterisasi sifat fisis lainnya. Dapat pula dilakukan pen-*dopping*-an untuk mereduksi nilai *band gap* yang terlalu tinggi hasil dari penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

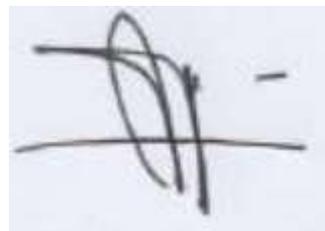
- Abdullah, Mikrajuddin dan Khairurrujal. (2009). Diktat Workshop Pengolahan Data Karakteristik Nanomaterial. Bandung : ITB.
- Anonim. (2018). <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/> pada tanggal 22 Juni 2018, pukul 21:01 WIB
- Anonim. (2018). Teori Dasar X-Ray Diffraction. Diakses dari <http://fathul-ilmu.blogspot.co.id/2013/09/teori-dasar-x-ray-diffraction-xrd.html> pada tanggal 2 Mei 2018, pukul 20:17 WIB.
- Ariswan dan Na Peng Bo. (2004). Teknologi Vakum. Handout Kuliah. Yogyakarta: UNY.
- Ariswan. (2010). Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia. Yogyakarta: UNY.
- Ariswan. (2017). BAB II Pembawa Muatan pada Bahan Semikonduktor, Handout Kuliah. Yogyakarta : UNY.
- Ariwan. (2017). Plasma. Handout. Yogyakarta: UNY.
- Aryanto, Defi. (2013). Diakses dari <https://defiaryanto.wordpress.com/2013/10/24/pembuatan-lapisan-tipis-dengan-menggunakan-metode-sputtering/> pada tanggal 2 Mei 2018, pukul 20:20 WIB.
- Budiman, Siska. (2017). Semikonduktor, PPT. Slideplayer.
- Febriani, Yunisha. (2015). Laporan Praktikum Kimia Analisis Instrumentasi. Yogyakarta : Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- Ginting, Erika Sempana Br. (2017). Deposisi Perak (Ag) pada Substrat Kaca Preparat (SiO<sub>2</sub>) dengan Metode DC Sputtering, Laporan PKL. Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Hariyanto, Sigit., et al. (1999). Pembuatan Lapisan Tipis Titanium Nitrida dengan Menggunakan Metode DC Sputtering. Yogyakarta : BATAN.
- Maharani, Iin Zuchaina Fatias . (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Substrat Terhadap Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor PbSe Lapisan Tipis Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum, Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Mustaqim, Amrina. (2013). Fabrikasi Sputering. Diakses dari <http://amree.blog.uns.ac.id/2013/06/17/sputering/> pada tanggal 23 April 2018, pukul 11:35 WIB.

- Puspitaningrum, Tyas. (2017). Penentuan Band Gap dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S<sub>0,8</sub>Te<sub>0,2</sub>) dan Sn(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal, Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Rio, Reka dan Masamori. (1980). Fisika dan Teknik Semikonduktor. Jakarta : PT Dainippon Gitakarya Printing.
- Rusli, Roslan. Difraksi Sinar-X. Diakses dari <http://rolanrusli.com/difraksi-sinar-x/> pada tanggal 25 April 2018, pukul 09:31 WIB.
- Salahudin, Xander. Sri Widodo., dan Nani Mulyaningsih. (2014). Karakteristik Lapisan Titanium Nitrida yang Dideposisi dengan Metode Sputtering pada Baja AISI 410. Magelang : Universitas Tidar Magelang.
- Sayoso., et al. (2006). Pembuatan Lapisan Tipis SnO<sub>2</sub> dengan Metode Sputtering DC untuk Sensor Gas CO. Yogyakarta: BATAN.
- Siswanto, Bambang., et al. Analisis Sifat Mekanik Lapisan Tipis Nitrida Titanium pada Camshaft Hasil Teknik Plasma Sputtering. ISSN 0216-3128.
- Solovan, M.N., et al (2014). Electrical and Properties of TiN Thin Films. Vol 50(1).
- Subramanian, B., et al. (2011). Evaluation of Plasma Ion Beam Sputtered TiN/TiAlN Multilayers on Steel for Bio Implant Applications. JWRI. Vol. 40(2).
- Sujatno, Agus., et al. (2015). Studi Scanning Eletron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Yogyakarta:BATAN.
- Suryanarayana dan Grant Norton. (1998). X-RAY Diffraction a Practical Approach. Amerika: Plenum Press.
- Wahyusaputra. (2016). Proses Sputtering. Diakses dari <https://kuliahmesin.wordpress.com/2016/09/24/proses-sputtering-sputtering-process/> pada tanggal 25 April 2018, pukul 09:14 WIB.
- Wikipedia. (2018). Nitrida. Diakses dari <https://id.wikipedia.org/wiki/Nitrida> pada tanggal 23 April 2018, pukul 11:19 WIB.
- Wikipedia. (2018). Titanium Nitride. Diakses dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Titanium\\_nitride](https://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_nitride) pada tanggal 5 Maret 2018, pukul 11:15 WIB.
- Windajanti, Josephine M., Djoko Santjojo., dan Abdurrouf. (2017). Pembentukan Titanium Nitrida (TiN) dengan Proses Nitriding pada Titanium Murni Menggunakan Plasma Densitas Tinggi, Jurnal Rekayasa Mesin. Vol 8(2).
- Wiyatmo, Yusman., et al. (2016). Fisika Atom, Petunjuk Praktikum. Yogyakarta: UNY.

Yogyakarta, 24 Juli 2018

Disetujui,

Dosen Pembimbing,



Drs. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

