

# PERBAIKAN KINERJA PROBE 4 TITIK MELALUI PELAPISAN PERAK DENGAN METODE ELECTROPLATING PADA VARIASI WAKTU DEPOSISI

*By* M. TOIFUR

1  
**PERBAIKAN KINERJA PROBE 4 TITIK MELALUI PELAPISAN PERAK  
DENGAN METODE *ELECTROPLATING* PADA VARIASI WAKTU DEPOSISI**20  
**Moh. Toifur, Didik Asmiarto**  
Program Studi Fisika, FMIPA Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta  
Email: [mtoifur@yahoo.com](mailto:mtoifur@yahoo.com)  
SMAN 1 Girimulyo, Kulonprogo Yogyakarta  
Email: [dasmiarto@yahoo.go.id](mailto:dasmiarto@yahoo.go.id)**Abstract**

Pada penelitian ini telah dilakukan perbaikan kinerja alat probe 4 titik yang terbuat dari tembaga dilapisi perak menggunakan teknik *electroplating*. Untuk menentukan waktu deposisi terbaik dilakukan percobaan pelopor deposisi perak pada pelat tembaga dengan waktu divariasi dari 30 s – 180 s. Sebagai larutan elektrolit digunakan larutan kalium sianida dengan konsentrasi 27,6 g/L yang dipanasi pada suhu 70°C. Hasil deposisi menunjukkan bahwa waktu 90 s paling baik untuk pembentukan lapisan perak berstruktur kristal homogenitas lapisan serta resistivitas ( $R_s$ ) keping terendah yaitu  $(1,52 \pm 0,20) \Omega/\text{sq}$ . Selanjutnya parameter-parameter proses yang telah diperoleh diaplikasikan pada pelapisan perak pada kaki-kaki probe 4 titik. Kinerja probe yang terlapis perak diujikan pada lapisan NiFe yang sebelumnya telah diukur  $(36,41 \pm 4,29) \Omega/\text{sq}$ . Hasilnya diperoleh resistivitas keping  $(33,92 \pm 0,74) \Omega/\text{sq}$  sehingga deposisi Ag pada probe-probe Cu dapat memperbaiki kinerja probe 4 titik yaitu menurunkan resistivitas keping sebesar 6,84%.

**Keywords:** *Probe empat titik, electroplating, perak, tembaga.*

**1. PENDAHULUAN**

Alat ukur probe empat titik adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas (kerintangan) bahan dalam **19** tuk lapisan tipis (*thin film*). Resistivitas merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam kelistrikan. Untuk komponen elektronika seperti transistor, diode, dan sel surya, lapisan tipis pada sambungan antara bahan yang bertipe N dan P (*P-N junction*), nilai resistivitas menentukan kemudahan proses migrasi muatan listrik (elektron atau hole) dari bahan bertipe N ke bahan bertipe P dan sebaliknya [1, 2]. Alat ukur ini terdiri dari 4 probe dengan 2 probe terluar berfungsi sebagai penghantar arus listrik, dan 2 probe dalam untuk mengukur tegangan listrik ketika keempat probe dikenakan pada sampel (konduktor dan semikonduktor) yang akan diukur. Penggunaan alat ini disukai karena tidak membutuhkan penyiapan sampel yang rumit sebelum diukur dan hasilnya sangat akurat [3].

Perkembangan alat ini sangat pesat baik pada teori maupun produksi di industri, untuk penelitian dan untuk komersial. Huang dan Ladbroke telah mengembangkan alat probe 4 titik khusus untuk lapisan jenis epitaxy, lapisan hasil implantasi, dan lapisan hasil difusi. Perbedaan masing-masing terletak pada kekuatan penetrasi pada permukaan lapisan [4].

Pengembangan lain adalah pemendekan jarak antar kaki probe hingga 0,1 mm. Pemendekan ini bertujuan untuk meningkatkan validitas hasil ukur [5]. Lie et.al juga melakukan pengembangan baik dari teori maupun praktis sehingga menjadi *micro four point probe* dengan jarak antar probe 1,5  $\mu\text{m}$  [3] sehingga dapat digunakan pada sampel non homogen [6]. Perbaikan hasil ukur lain adalah adanya faktor koreksi terhadap nilai resistivitas keping yang berbeda antara sampel yang berbentuk segi empat dengan sampel yang berbentuk lingkaran [7].

Kinerja alat probe empat titik sangat bergantung diantaranya pada kemampuan

probe menghantarkan arus listrik, kesempurnaan kontak antara sampel dengan probe [6, 8], jarak antar probe, dan luas permukaan probe yang kontak dengan sampel. Hantaran arus listrik tergantung pada jenis bahan serta keadaan bahan. Jenis bahan yang baik untuk probe diantaranya yang tidak mudah korosi seperti emas, perak, dan tungsten. Selain itu untuk membuat probe selalu baik dibutuhkan perawatan seperti pembersihan probe secara rutin untuk membebaskan probe dari pengotor akibat korosi, oksidasi, dan pelemakan. Tindakan melapisi kaki-kaki probe dengan lapisan konduktif (tipis) juga dapat memperbaiki kinerja probe 4 titik. Jika beberapa hal tersebut tidak diperhatikan maka menjadikan kinerja probe 4 titik terganggu, yang berakibat nilai resistivitas keping menjadi tidak valid.

Lab. Fisika Univeristas Ahmad Dahlan memiliki 3 unit probe 4 titik buatan sendiri. Alat ini biasa digunakan untuk mengukur resistivitas keping lapisan hasil deposisi dengan teknik *electroplating* untuk mendukung matakuliah praktikum fisika material serta penelitian dosen. Probe-probe alat berbahan tembaga (Cu). Pada tahun 2012 alat ini dipakai untuk mengukur lapisan NiFe hasil deposisi di atas substrat kaca dengan teknik sputtering DC. Nilai yang diperoleh ( $36,36 \pm 4,29$ ) ohm/sq. Sampai sekarang tidak diketahui apakah nilai tersebut valid atau tidak. Demikian juga tidak diketahui sejauh mana ketepatan dan ketelitian alat tersebut. Oleh karena itu untuk mengecek validitas kinerjanya pada penelitian ini dilakukan perbaikan kondisi permukaan kaki-kaki probe dengan melapisi lapisan tipis konduktif Ag. Jika setelah diperbaharui resistivitas keping lapisan masih sama dengan sebelumnya maka peralatan masih bagus, namun jika setelah diperbaiki resistivitas keping lapisan lebih kecil dari sebelumnya maka kinerja alat tersebut kurang baik sehingga pelapisan pada alat ini dapat memperbaiki kinerja alat.

Metode pelapisan yang digunakan adalah *electroplating* yang menggunakan perak sebagai bahan yang dilapiskan dan kalium

sianida (KCN) sebagai larutan elektrolit. Metode ini memiliki kelebihan antara lain lapisan hasil memiliki karakteristik yang serupa dengan target [9], dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi, permukaan lapisan lebih homogen [10]. Dipilihnya perak sebagai bahan yang dilapiskan karena nilai konduktivitas perak cukup besar yaitu  $\sigma = 6,25 \times 10^7 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ , relatif murah, dan mudah didapat. Selain itu jika perak dilapiskan ke tembaga maka adhesivitas perak terhadap tembaga kecil sehingga hantaran arus listrik lebih didominasi oleh perak [11]. Demikian pula secara mikroskopis tidak ada kesesuaian antara arah kristal tembaga dengan dengan perak.

Pada *electroplating* ada beberapa parameter penting yang dapat diatur diantaranya adalah arus listrik, waktu deposisi, suhu dan konsentrasi larutan [12], dan PH larutan [13]. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu deposisi dari 30 s sampai 150 s untuk memperoleh waktu optimum yang menghasilkan lapisan dengan daya hantar listrik terbaik. Waktu deposisi berpengaruh pada tebal lapisan, namun ketebalan tidak selalu sebanding dengan waktu. Jika proses pelapisan sudah jenuh maka penambahan waktu tidak mempengaruhi penambahan ketebalan. Ada waktu optimum yang dapat menghasilkan lapisan yang memiliki daya hantar listrik paling baik.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Probe 4 titik berbahan tembaga berbentuk batang dengan ukuran panjang 4 cm, diameter 1 mm (gambar 1).
2. Pelat tembaga berukuran  $3 \times 1 \text{ cm}^2$ , tebal 0,2 mm sebanyak 5 buah. Pelat ini digunakan untuk substrat pada

percobaan pelopor yang akan dilapisi Ag pada variasi waktu untuk menghasilkan parameter proses deposisi terbaik.



Gambar 1. Probe 4 titik sebelum dideposisi dengan Ag.

3. Logam perak 1 gram sebagai bahan pelapis.
4. Larutan kalium sianida konsentrasi 27,6 g/liter sebagai larutan elektrolit.
5. Lapisan tipis NiFe, sebagai bahan uji yang akan diukur resistivitas kepingnya.

13

## B. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

1. Gelas kimia 400 ml untuk proses *electroplating*.
2. Dua buah elektroda yaitu pelat perak sebagai anoda dan pelat tembaga sebagai katoda untuk percobaan pelopor. Pada percobaan sesungguhnya sebagai katoda digunakan 4 buah probe.
3. Regulator DC keluaran *Kokusui Electronics Japan* dengan batas maksimal arus 1,2 A dan tegangan 20 volt digunakan sebagai sumber tegangan.
4. Pengatur suhu tipe TEW IL-80EN dengan batas ukur 400 °C, untuk mengatur suhu larutan elektrolit pada 70 °C.

5. Beberapa alat pendukung yaitu probe sensor tegangan dan probe sensor arus yang dihubungkan dengan Labquest sebagai *interface*, serta software loggerpro untuk menampilkan secara langsung tegangan dan arus melalui layar komputer.

Semua alat ini dirangkai menggunakan kabel penghubung seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat pada proses *electroplating*

## C. Alat Karakterisasi

Alat yang digunakan untuk karakterisasi meliputi:

1. SEM untuk mengetahui tebal lapisan perak.
2. XRD merk Shimadzu tipe lab-X XRD-6000 untuk mengetahui struktur kristal lapisan Ag/Cu.
3. Probe 4 titik untuk menentukan resistivitas keping lapisan NiFe.

## D. Prosedur Penelitian

Beberapa tahapan yang dilakukan pada eksperimen ini meliputi:

1. Penyiapan substrat. Dalam menyiapkan substrat, lempeng tembaga setebal 0,2 mm dipotong dengan ukuran 3×1 cm<sup>2</sup>. Selanjutnya pelat dicuci dengan menggunakan lerak dan dibilas menggunakan air sampai bersih dan mengkilat. Setelah proses pembersihan selesai, substrat Cu dikeringkan menggunakan kertas *tissue*.

2. Proses *electroplating*. Pada proses *electroplating* disiapkan larutan KCN dengan konsentrasi 30,2 g/liter sebanyak 500 ml. Selanjutnya peralatan dirangkai seperti pada gambar 2. Larutan tersebut dipanaskan menggunakan kompor listrik sampai suhu mencapai 70 °C dengan mengatur knob pengatur suhu ke posisi 70 °C agar suhu larutan terjaga. Proses *electroplating* dilakukan pada tegangan 3 volt selama 30 s. Proses *electroplating* diulangi dengan lama waktu divariasikan 60 s, 90 s, 120 s, dan 180 s.

Menentukan tebal lapisan, struktur mikro lapisan, dan resistivitas keping lapisan, serta menentukan parameter proses terbaik dari semua sampel. Untuk menentukan resistivitas keping  $R_s$ , digunakan metode regresi linier antara arus dan tegangan sehingga rumus untuk  $R_s$  [7, 14]:

$$R_s = \frac{\pi V}{\ln 2 I}$$

Pada pengolahan data mengikuti regresi linier antara  $V$  dan  $I$  diperoleh

$$V = \frac{\ln 2}{\pi} R_s I$$

Jika  $\ln 2/\pi \cdot R_s$  dimisalkan slope grafik  $a$ , maka resistivitas keping

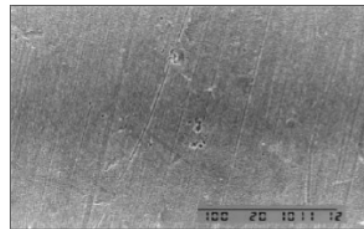
$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} a$$

6. Melakukan deposisi 4 probe sesuai dengan parameter proses terbaik. Setelah selesai probe dipasangkan sedemikian rupa sehingga menjadi alat probe 4 titik.
7. Mengukur resistivitas keping lapisan NiFe dan membandingkan dengan nilai resistivitas keping lapisan NiFe hasil pengukuran pada tahun 2012.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 3 ditampilkan foto tampak permukaan lapisan perak yang

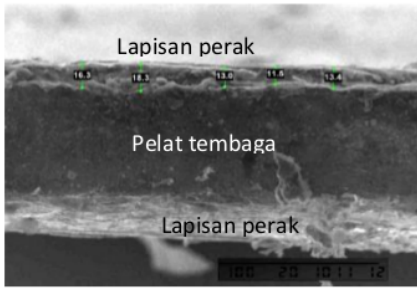
dideposisikan pada pelat tembaga, sedangkan gambar 4 menampilkan foto tampak lintang  $Ag_1/Cu/Ag_2$ . Disini  $Ag_1$  adalah lapisan Ag hasil deposisi yang berhadapan dengan anoda Ag, sedangkan  $Ag_2$  adalah lapisan Ag yang membelakangi anoda Ag. Oleh karena itu  $Ag_1$  lebih tebal dari  $Ag_2$ . Hasil pada gambar 3 mirip dengan hasil yang diperoleh Cheng dkk. yang membuat lapisan Ag/Cu/Ru [15]. Pada keadaan demikian Cheng menyatakan bahwa lapisan perak telah melekat pada lapisan Cu. Merujuk pada ungkapan Cheng maka pada deposisi ini telah diperoleh lapisan perak yang melekat pada pelat Cu.



(1)

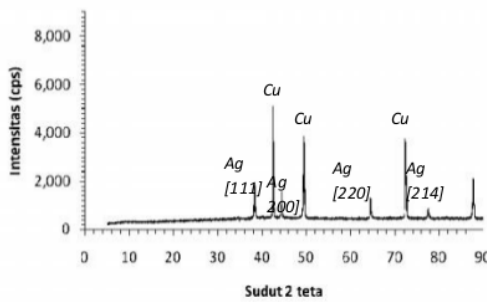
- (2) Gambar 3. Foto tampak permukaan pelat tembaga setelah dideposisi dengan perak menjadi Ag/Cu

- (3) Dari pengukuran menggunakan SEM tampak lintang di 5 tempat diketahui bahwa tebal rata-rata Cu ( $14,5 \pm 1,23$ )  $\mu\text{m}$ . Hasil ini cukup teliti mengingat simpangan baku kurang dari 10% sehingga dapat dikatakan bahwa lapisan yang terbentuk cukup homogen.



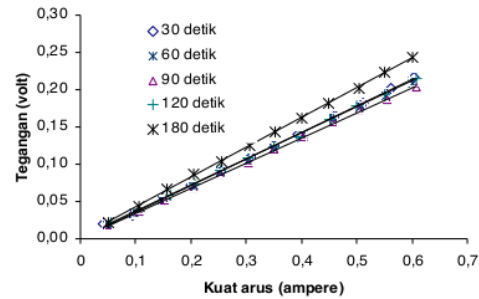
Gambar 4. Foto tampak lintang lapisan Ag/Cu

Pada gambar 5 ditampilkan pola difraksi sinar X untuk lapisan Ag/Cu hasil deposisi selama 90 s. Pada sampel tersebut kedua unsur telah menampakkan struktur kristal. Diharapkan dengan susunan kristalin ini akan berdampak secara signifikan terhadap sifat listriknya.



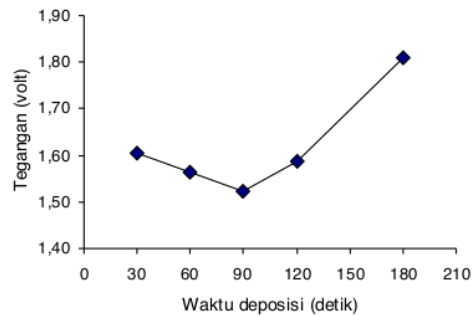
Gambar 5. pola difraksi sinar X pada lapisan Ag/Cu.

Hasil akuisisi data tegangan dan arus oleh software loggerpro untuk masing-masing sample jika digambar kurva tegangan-arus maka diperoleh grafik sebagaimana ditampilkan pada gambar 6. Data difitting menurut garis lurus sesuai dengan pers. (1).



Gambar 6. Kurva tegangan-arus untuk sample hasil deposisi selama 30 s – 180 s .

Dari slope grafik dari masing-masing kurva jika diolah sesuai dengan pers. (2) maka diperoleh resistivitas keping masing-masing sampel. Pada gambar 7 ditampilkan resistivitas keping masing-masing sampel.



Gambar 7. Resistivitas keping lapisan Ag/Cu hasil *electroplating* pada variasi waktu deposisi

Sesuai dengan tujuan semula yaitu memperoleh lapisan konduktif yang terbaik, maka sampel terbaik adalah yang memiliki konduktivitas terbesar atau resistivitas terkecil sehingga lebih mudah menghantarkan arus listrik. Dari gambar ini diperoleh resistivitas keping terkecil bersesuaian dengan waktu deposisi 90 s.

Selanjutnya parameter deposisi ini digunakan untuk melakukan deposisi Ag pada probe-probe Cu pada alat probe 4 titik. Hasil probe yang telah dideposisi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Foto kaki probe setelah dideposisi dengan Ag.

Selanjutnya setelah probe-probe yang telah deposisi ini dipasang pada alat probe 4 titik digunakan untuk mengukur resistivitas sampel uji lapisan tipis NiFe. Nilai resistivitas keping lapisan tipis NiFe yang ditentukan menggunakan probe 4 titik setelah probe dilapisi dengan Ag sebesar  $R_s = (33,92 \pm 0,74) \Omega/\text{sq}$ .

Pada tabel 1 ditampilkan nilai  $R_s$  lapisan NiFe yang diukur menggunakan probe 4 titik sebelum dan setelah di deposisi.

Tabel 1. Perbandingan nilai resistivitas keping lapisan nife diukur dengan probe 4 titik sebelum dan setelah di deposisi.

$R_s$ lapisan NiFe sebelum <i>electroplating</i>	$R_s$ lapisan NiFe setelah <i>electroplating</i>	Ralat Relatif
$(36,41 \pm 4,29) \Omega/\text{sq}$	$(33,92 \pm 0,74) \Omega/\text{sq}$	6,8%

Dengan berkurangnya nilai resistivitas keping lisan NiFe setelah diukur menggunakan probe berlapis Ag menunjukkan bahwa deposisi lapisan Ag selama 90 s pada kaki-kaki probe menjadikan kaki-kaki probe lebih mudah menghantarkan arus listrik. Perbaikan kinerja alat probe 4 titik meningkat sebesar 6,8%.

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas telah berhasil dilakukan proses deposisi Ag pada substrat pelat Cu dan pada kaki-kaki probe alat

probe 4 titik. Selanjutnya dari hasil-hasil yang diperoleh dapat disimpulkan:

1. Lama deposisi yang paling baik untuk menghasilkan lapisan Ag/Cu adalah 90 s .
2. Pada deposisi kaki-kaki probe 4 titik dalam waktu 90 s ini mampu memperbaiki kinerja probe 4 titik dalam bentuk penurunan resistivitas keping lapisan sebesar 6,84% dari resistivitas keping semula.

18

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan 6 terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengembangan Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta yang telah mendanai penelitian ini melalui kontrak penelitian No. PF-159/LPP-UAD/III/2016.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

23

[1] A.P. Schuetze, W. Lewis, C. Brown, and W. J. Geerts, "A Laboratory on The Four-Point Probe Technique", Am. J. Phys. 72(2), February 2004, pp. 149 – 153.

17

[2] R. Kinder, M. Mikolasek, D. Donoval, J. Kovac, M. Tlaczala, "Measurement System With Hall and A Four Point Probes for Characterization of Semiconductors" Journal of Electrical Engineering, Vol. 64, NO. 2, 2013, 106–111.

8

[3] J.C. Li, Y. Wang, and D.C. Ba. "Characterization of Semiconductor Surface Conductivity by Using Microscopic Four-Point Probe Technique", Physics Procedia 32 ( 2012 ) pp. 347 – 355

16

[4] R.S. Huang, P.H. Ladbrooke , "The Use of A Four-Point Probe for Profiling Sub-Micron Layers", Solid-State Electronics , Volume 21, Issue 9, September 1978, Pages 1123-112.

- [5] Y. Sato, T. Ogiwara, M. Suzuki, T. Kikuchi, and S. Kiyota, "Development of Fine-Pitch Four Point Probe for High Spatial Resolution Sheet Resistance Measurement", *Journal of Surface Analysis*, vol. 11, no. 2 (2004) pp. 58-61.
- [6] F. Wang, D.H. Petersen, F.W. Osterberg, O. Hansen, "Accuracy of Micro Four-Point Probe Measurements on Inhomogeneous Samples: A Spacing Dependence Study", *2009 17th International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors*, Sept. 29 2009-Oct. 2 2009, pp. 1-6. ISSN: 1944-0251.
- [7] F.M. Smith, "Measurement of Sheet Resistivities with the Four-Point Probe", *Bell Lab Technical Journal*, 29 Juli 2013 (version record on line), pp 1538-7305.
- [8] D.H. Petersen, R. Lin, T.M. Hansen, E. Rosseel, W. Vandervorst, C. Markvardsen, D. Kjær, and P. F. Nielsen, "Comparative Study of Size Dependent Four Point Probe Sheet Resistance Measurement on Laser Annealed  $n$ -Shallow Junctions", 2008, *J. Vac. Sci. Technol. B* 26, 362.
- [9] R.E. Smallman, *Metalurgie Fisik Modern*, Edidi ke-4, Gramedia Pustaka Utama.
- [10] S. Strehle, S. Menzel, J.W. Bartha, K. Wetzig, "Electroplating of Cu(Ag) Thin Films for Interconnect Applications", *Microelectronic Engineering* Volume 87, Issue 2, February 2010, Pages 180–186
- [11] Okamoto, F. Wang, and T. Watanabe, "Adhesion of Electrodeposited Copper, Nickel and Silver Films on Copper, Nickel and Silver Substrates", *Materials Transactions*, Vol. 45, No. 12 (2004) pp. 3330 – 3333.
- [12] H.H. Lou and Y. Huang, *Electroplating*, *Encyclopedia of Chemical Processing*.
- [13] M. Schlesinger and M. Paunovic, *Modern Electroplating*, Fifth Edition, 2010, John Wiley & Sons, Inc.
- [14] M. Toifur, "Memahami Resistivitas Berbagai Jenis Probes Arus-Tegangan", *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, Yogyakarta, 26 April 2016.
- [15] C. Cheng, T. Arunagiri, and O. Chyan, "Electrodeposition of Silver and Copper/Silver Multilayer on Ruthenium Substrate as a Potential New Metal Interconnect for Integrated Circuits", *American Journal of Undergraduate Research*, Vol. 2 no. 1 (2003), pp 11-18.



# PERBAIKAN KINERJA PROBE 4 TITIK MELALUI PELAPISAN PERAK DENGAN METODE ELECTROPLATING PADA VARIASI WAKTU DEPOSISI

ORIGINALITY REPORT

# 12%

SIMILARITY INDEX

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://pingpdf.com">pingpdf.com</a> Internet	61 words — 2%
2	<a href="https://patents.justia.com">patents.justia.com</a> Internet	37 words — 1%
3	<a href="https://rahartri.blogspot.com">rahartri.blogspot.com</a> Internet	19 words — 1%
4	Christos F. Karanikas, James J. Watkins. "Supercritical Fluid Deposition of Ruthenium Thin Films: A Kinetic Study", MRS Proceedings, 2011 Crossref	17 words — 1%
5	<a href="https://xplore.staging.ieee.org">xplore.staging.ieee.org</a> Internet	16 words — 1%
6	<a href="https://ijpst.or.id">ijpst.or.id</a> Internet	15 words — 1%
7	M. Albarghouti, N. El Dahdah, G. Perosevic, S. Jain, J-M Papillon, S. Fernandez. "Moisture and Hydrogen Release in Optoelectronic Hermetic Packages", International Symposium on Microelectronics, 2013 Crossref	14 words — 1%
8	<a href="https://cronfa.swan.ac.uk">cronfa.swan.ac.uk</a> Internet	12 words — < 1%
9	<a href="https://tel.archives-ouvertes.fr">tel.archives-ouvertes.fr</a>	

Internet

11 words — < 1 %

10 [core.ac.uk](https://core.ac.uk)  
Internet

10 words — < 1 %

11 [toc.proceedings.com](https://toc.proceedings.com)  
Internet

10 words — < 1 %

12 [www.sasj.jp](https://www.sasj.jp)  
Internet

10 words — < 1 %

13 [text-id.123dok.com](https://text-id.123dok.com)  
Internet

10 words — < 1 %

14 [www.scribd.com](https://www.scribd.com)  
Internet

10 words — < 1 %

15 [www.jim.or.jp](https://www.jim.or.jp)  
Internet

9 words — < 1 %

16 [mafiadoc.com](https://mafiadoc.com)  
Internet

9 words — < 1 %

17 S. Dişlitaş, G. Ömer, R. Ahıska. "Microcontroller-based test system for determining the P-N type and Seebeck coefficient of the thermoelectric semiconductors", Measurement, 2019  
Crossref

8 words — < 1 %

18 [ojs.fdk.ac.id](https://ojs.fdk.ac.id)  
Internet

8 words — < 1 %

19 [authorea.com](https://authorea.com)  
Internet

8 words — < 1 %

20 [fr.scribd.com](https://fr.scribd.com)  
Internet

8 words — < 1 %

21 Naoki Okamoto, Feng Wang, Tohru Watanabe. "Adhesion of

Electrodeposited Copper, Nickel and Silver Films on Copper, Nickel and Silver Substrates", MATERIALS TRANSACTIONS, 2004

Crossref

7 words — < 1 %

22

Martin Heinrich, Sven Kluska, Sebastian Binder, Ziv Hameiri, Bram Hoex, Armin G. Aberle. "Accurate potential drop sheet resistance measurements of laser-doped areas in semiconductors", Journal of Applied Physics, 2014

Crossref

7 words — < 1 %

23

[aapt.scitation.org](http://aapt.scitation.org)

Internet

7 words — < 1 %

24

Lu, C.. "Properties of reflective and semitransparent CsI photocathodes", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 19940401

Crossref

6 words — < 1 %

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE MATCHES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON