

Sains Malaysiana 40(2)(2011): 181–190

## Kesan Teknik Pengaktifan Bermangkin Berbeza Terhadap Prestasi Terma Penyebar Haba Cip Balikan

(Effects of Different Catalytic Activation Techniques on the Thermal Performance of Flip Chip Heat Spreader)

VICTOR LIM\*, NOWSHAD AMIN, C.S. FOONG, IBRAHIM AHMAD, AZAMI ZAHARIM, ROZAIDI RASID & AZMAN JALAR

### ABSTRAK

*Kertas ini membentangkan kesan dua teknik pengaktifan bermangkin yang berbeza terhadap prestasi terma bagi penyebar haba cip balikan. Penyaduran nikel tanpa elektrik digunakan sebagai salah satu teknik saduran kerana ia boleh membentuk satu lapisan nikel yang ketebalannya seragam ke atas substrat kuprum. Proses pengaktifan bermangkin perlu dilakukan dahulu untuk mengenapkan sesetengah atom nikel ke atas substrat kuprum, supaya enapan nikel mampu untuk memangkinkan proses penurunan yang seterusnya. Dua jenis teknik pengaktifan telah dikaji, iaitu pemulaan galvanik dan penyaduran nipis nikel-kuprum. Ujian simpanan suhu tinggi telah dijalankan untuk mengkaji takat resapan antara logam bagi lapisan nikel and kuprum. Kemerresapan terma bagi penyebar haba telah dikaji dengan menggunakan peralatan Nano-flash. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa penyebar haba yang diproses dengan penyaduran nipis nikel-kuprum mempunyai nilai kemerresapan terma ( $35\text{-}65\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ ) yang lebih rendah berbanding dengan penyebar haba yang diproses dengan teknik pemulaan galvanik ( $60\text{-}85\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ ). Selain daripada itu, kajian ini juga menemui ketebalan lapisan antara logam nikel-kuprum dalam penyebar haba ini bertambah daripada  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  pada keadaan asal kepada  $0.55\text{ }\mu\text{m}$  selepas 168 jam simpanan suhu tinggi. Lapisan antara logam nikel-kuprum mempunyai kekonduksian terma yang lebih rendah berbanding dengan kuprum tulen, ini telah merendahkan kemerresapan terma bagi penyebar haba. Kesimpulannya, teknik pemulaan galvanik menyediakan prestasi terma yang lebih baik untuk penyebar haba yang digunakan dalam pembungkusan semikonduktor.*

*Kata kunci: Pemulaan galvanik; penyaduran nikel tanpa elektrik; penyaduran nipis nikel-kuprum; penyebar haba*

### ABSTRACT

*This paper presents the effects of two different catalytic activation techniques on the thermal performance of flip chip heat spreaders. Electroless nickel plating is used as a plating technique as it can form a uniform thickness of nickel layer onto the copper substrate. Catalytic activation process needs to be done first to deposit some nickel atom onto copper substrate, so that the deposited nickel is able to catalyze the following reduction process. The two activation techniques investigated are galvanic initiation and thin nickel-copper strike. High temperature storage tests were ran to investigate the extent of intermetallic diffusion between the nickel and copper layers. Thermal diffusivity of these heat spreaders was studied using the Nano-flash apparatus. The results obtained showed that heat spreaders processed with thin nickel copper strike have lower thermal diffusivities ( $35\text{-}65\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ ) compared to those heat spreaders processed with galvanic-initiation ( $60\text{-}85\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ ). It is also discovered that the nickel-copper intermetallic layers of these heat spreaders grew thicker from  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  at initial time until  $0.55\text{ }\mu\text{m}$  after high temperature storage of 168 hours. Nickel-copper intermetallic layers have lower thermal conductivity compared to pure copper, this further degrading the thermal diffusivity of these heat spreaders. As a conclusion, the galvanic initiation technique provides better thermal performance for heat spreaders used in semiconductor package.*

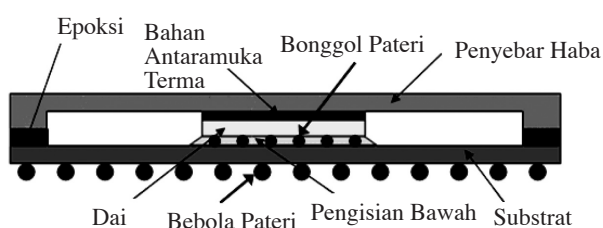
*Keyword: Electroless nickel plating; galvanic initiation; heat spreader; thin nickel-copper strike*

### PENGENALAN

Pengurusan terma adalah satu aspek penting dalam aplikasi semikonduktor termaju (Samson et al. 2005). Pengurusan terma yang baik dapat mencegah pakej litar terkamir daripada terlampau panas. Pakej litar terkamir yang terlampau panas akan merendahkan prestasi elektrik litar terkamir dan akhirnya membawa kepada kegagalan fungsi litar terkamir. Bagi mengekalkan suhu simpang

transistor yang optima, pakej susunan grid bebola cip balikan secara umumnya menggunakan penyebar haba sebagai medium untuk melepaskan haba yang dihasilkan semasa operasi. Rajah 1 menunjukkan ilustrasi bagi pakej susunan grid bebola cip balikan dengan penyebar haba. Penyebar haba dilekatkan ke atas dai silikon dengan bahan antaramuka terma dikepitkan di antara penyebar haba dan dai silikon.

Penyebar haba biasanya dibuat daripada kuprum kerana nilai kekonduksian terma yang tinggi (401 W/mK) (Cengel 2007). Namun begitu, permukaan kuprum yang terdedah akan mengalami pengoksidaan dan ketahanan haus kuprum juga tidak memuaskan. Untuk mengatasi isu-isu ini, satu lapisan nikel biasanya disadurkan ke atas permukaan kuprum. Nikel menyediakan satu permukaan yang keras dan anti-kakisan kepada penyebar haba. Lapisan nikel melindungi penyebar haba apabila ia dilekatkan antara dai silikon dan pelepas haba bersamaan dengan bahan antaramuka terma (Chen et al. 2003; Yamada et al. 1993). Selain itu, nikel juga lengai terhadap pengoksidaan. Sifat ini mencegah sebarang tindak balas dengan komponen bahan kimia dalam bahan antara muka terma.



RAJAH 1. Keratan rentas pakej susunan grid bebola cip balikan

Teknik penyaduran nikel tanpa elektrik telah digunakan secara meluas dalam industri pembungkusan semikonduktor untuk menyadur nikel ke atas kuprum. Teknik ini beroperasi tanpa bekalan elektrik dan menyediakan ketebalan saduran yang seragam kepada bahan yang disadur walaupun dalam bentuk yang sangat rumit. Jika dibandingkan dengan penyaduran nikel elektrik, penyaduran nikel tanpa elektrik dapat mengatasi ketebalan saduran yang tidak seragam disebabkan oleh perubahan ketumpatan arus dari anod saduran (Chen et al. 2003). Dengan ketebalan enapan nikel yang seragam, bahan antara muka terma yang dilekatkan pada permukaan penyebar haba juga akan mempunyai ketebalan garisan lekat yang seragam. Hal ini akan membantu haba dipindahkan keluar dari dai silikon secara serata dan bintik panas tidak akan terbentuk dalam pakej. Enapan penyaduran nikel tanpa elektrik dapat dikategorikan kepada tiga jenis mengikut tumpuan fosforus (P), iaitu enapan nikel tanpa elektrik yang rendah (1-5%bt. P), sederhana (5-8%bt. P), dan tinggi (9%bt. P atau melebihi). Enapan nikel tumpuan sederhana fosforus mempunyai rintangan haus yang cemerlang dan biasanya digunakan sebagai bahan penyaduran yang tidak memerlukan fungsi yang khusus. Kelas ini adalah digunakan untuk menyadurkan penyebar haba dalam industri semikonduktor.

Apabila penyaduran dimulakan, proses penyaduran nikel tanpa elektrik dijalankan secara spontan sehingga kekurangan ion-ion nikel and hipofosfat dalam larutan kimia. Walau bagaimanapun, penyaduran nikel tanpa elektrik hanya dapat dimulakan dengan keadaan permukaan-

permukaan sampel yang hendak disadur mempunyai bahan semaian yang dapat memangkinkan proses penganapan nikel. Unsur seperti nikel, kobalt, besi, zink, dan paladium adalah bahan-bahan semaian yang mampu memulakan proses penyaduran nikel. Bahan seperti plastik, seramik, perak, tembaga, dan pancalogam-pancalogam kuprum tidak boleh memangkinkan proses penyaduran nikel tanpa elektrik. Dengan ini, proses pengaktifan nikel diperlukan untuk mengena nikel ke atas bahan ini lantas memulakan proses penyaduran nikel tanpa elektrik. Sesetengah prosedur pengaktifan yang biasa digunakan untuk merawat permukaan logam-logam termasuk penggunaan arus katod seketika, penyaduran lapisan nikel nipis, penganapan filem paladium, dan rendaman bahagian sampel dalam larutan yang mempunyai agen penurun seperti dimetilaminaborane (DMAB) (Aschenbrenner et al. 1995; Cui et al. 2005; Watanabe & Honma 1998).

Dalam kajian yang dilaporkan dalam kertas kerja ini, penyebar haba yang disadurkan oleh dua pembekal penyaduran penyebar haba telah disiasat. Penyebar-penyebar haba yang dikaji menggunakan teknik pengaktifan bermangkinkan penyaduran nikel tanpa elektrik yang berlainan, yakni pemulaan galvanik dan penyaduran nipis nikel-kuprum. Objektif kajian ini adalah untuk membandingkan prestasi terma bagi kedua-dua penyebar haba yang dihasilkan oleh dua proses pengaktifan bermangkinkan penyaduran nikel tanpa elektrik yang berbeza.

## BAHAN DAN KAEDAH

Dalam kajian ini, dua jenis penyebar haba dengan teknik pengaktifan bermangkinkan penyaduran nikel tanpa elektrik telah digunakan, yakni teknik pemulaan galvanik (Jenis A) dan teknik penyaduran nipis nikel-kuprum (Jenis B). Kedua-dua jenis penyebar haba adalah serupa bentuk dalam rekabentuk (bahan and dimensi), dibuat daripada kuprum (ketulenan 99.9%) dengan dimensi 30 mm × 30 mm (panjang × lebar) dan ketebalan 0.7 mm di tengah penyebar haba. Perbezaan antara penyebar haba adalah menggunakan teknik pengaktifan bermangkinkan yang berbeza sebelum proses penyaduran nikel tanpa elektrik.

Sampel-sampel penyebar haba A disentuh oleh sebatang dawai keluli atau aluminium dan memulakan penyaduran elektrolisis dalam takung nikel tanpa elektrik dengan penerus elektrik. Keupayaan elektrik permukaan sampel telah diubah dan ini membenarkan proses penyaduran nikel tanpa elektrik berlaku di atas permukaan penyebar haba. Arus katod seketika telah diaplikasikan ke atas sampel untuk menyadur sedikit nikel secara elektrik kepada permukaan sampel. Apabila enapan nikel adalah memadai untuk memangkinkan proses penyaduran nikel tanpa elektrik, bekalan elektrik akan diberhentikan untuk penyaduran nikel tanpa elektrik berjalan dengan sendiri. Untuk penyebar haba B pula, satu lapisan nipis aloi nikel-kuprum disadur kepada permukaan sampel dengan penyadur arus terus dalam takungan jenis sulfamat (Sartorelli et al. 2001; Singh et al. 2006). Takungan adalah

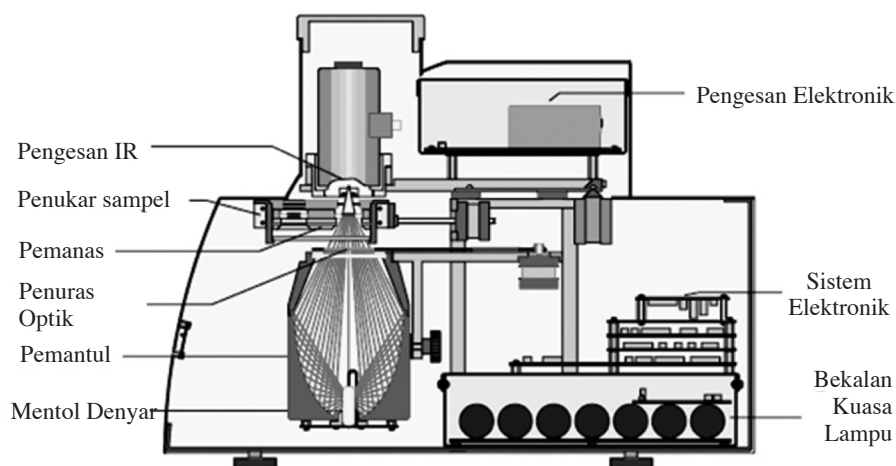
terdiri daripada elektrolit sitrat berair yang mengandungi sulfatmat nikel dan kuprum. Salutan kurang daripada 1  $\mu\text{m}$  telah diaplikasikan kepada permukaan sampel, dan kemudiannya ditukarkan kepada takungan nikel tanpa elektrik untuk meneruskan proses menyaduran tanpa elektrik.

Selepas penyebar haba disalut dengan nikel, kedua-dua penyebar haba telah dimasukkan ke dalam ketuhar simpanan suhu tinggi untuk menjalankan ujian simpanan suhu tinggi. Suhu dikekalkan pada 150°C dan kedua-dua jenis penyebar haba disimpan dalam ketuhar untuk 24, 48, 96 and 168 jam. Dengan memecut proses penuaan (proses memendekkan jangka hayat kebolegunaan sesuatu bahan) pada suhu tinggi (mengikuti pawai JEDEC JESD22-A103C), penumbuhan antara logam di antara lapisan telah digalakkan. Selepas sampel-sampel diambil keluar dari ketuhar simpanan suhu tinggi, semua sampel dicanai dengan menggunakan kertas pengisar pasir dan diikuti oleh proses penggilapan. Semua sampel dibekukan epoksi evolusi haba rendah untuk mengurangkan risiko kerosakan tegasan akibat pemanasan haba terhadap sampel. Selepas epoksi dikeraskan, semua sampel-sampel telah dikeluarkan dari cawan acuan dan dicanai basah dengan kertas pengisar kersik 180 sehingga 2000. Kemudian, sampel digilap dengan ampaian berlian pada kain sutera and akhirnya digilap dengan ampaian silika berkolid pada kain poliuretana. Selepas sampel dibuat keratan rentas, setiap imej optik sampel telah diambil oleh kamera mikroskop berkuasa tinggi Olympus BH3-MJL. Akhirnya, ketebalan setiap lapisan diukur menggunakan perisian pengukuran pada komputer mikroskop.

Kedua-dua jenis penyebar haba yang disimpan selepas 168 jam masa penuaan telah diselidik dengan Mikroskop Elektron Imbasan Philips XL 30 E-SEM yang dilengkapi dengan Spektrometer Sinar-X Sebaran Tenaga Oxford Instruments Inca X-sight. Unsur-unsur yang meresap di dalam setiap lapisan boleh dikenal pasti dengan menggunakan Spektrometer Sinar-X Sebaran

Tenaga. Hanya penyebar haba yang disimpan selepas 168 jam masa penuaan diselidik kerana lapisan resapan antara logam adalah paling tebal dan senang dikenal pasti oleh spektrometer. Lapisan nipis yang telah disalut dengan menggunakan teknik penyaduran nipis nikel-kuprum telah diselidik menggunakan alat pembelauan sinar-X Siemens D5000. Dengan menggunakan pembelauan sinar-X, aloi antara logam terbentuk semasa proses pengaktifan bermangkini dapat dikenal pasti.

Uji kaji kemeresapan terma juga dijalankan ke atas penyebar haba. Kedua-dua penyebar haba dipotong menjadi sampel berbentuk bulat dengan garispusat 12.7 mm bagi tujuan sampel penyebar haba dapat dimasukkan kepada dulang pemegang sampel untuk kajian kemeresapan terma Nano flash Netzsch LFA 447. Sebelum uji kaji dimulakan, ketebalan sampel diukur menggunakan mikrometer. Pada masa yang sama, ketumpatan sampel juga disukat menggunakan meter ketumpatan. Kedua-dua set data ketebalan dan ketumpatan sampel akan digunakan oleh meter kemeresapan terma untuk menghasilkan keputusan-keputusan kemeresapan dan kekonduksian bahan kajian. Sampel telah disalut dengan satu lapisan grafit konduksi terma untuk meningkatkan penyerapan haba tenaga sinaran daripada mentol denyar dan kemudiannya memancarkan sinaran infra-merah kepada pengesan. Kebaikan menggunakan peralatan nano flash adalah keupayaannya untuk mengatasi masalah rintangan sentuhan antara sampel-sampel dengan peralatan ujikaji. Pancaran kilat dari mentol denyar akan memindahkan haba secara sinaran dan haba tersebut akan diserap sepenuhnya oleh grafit yang disalut pada permukaan sampel seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2 (Gaal et al. 2004). Namun, bagi peralatan ujikaji kekonduksian terma biasa, ketaksekatan permukaan sampel uji kaji akan membentuk lompong udara di antara permukaan sampel dan paip haba yang disambung kepada sumber-sumber panas dan sejuk pada meter kekonduksian meter.



RAJAH 2. Keratan rentas untuk nano-flash kemeresapan terma meter

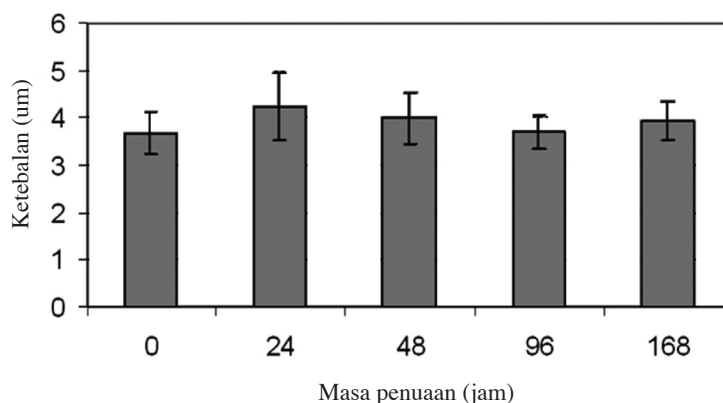
## HASIL DAN PERBINCANGAN

KESAN SIMPANAN SUHU TINGGI TERHADAP  
KEMERESAPAN ANTARA LOGAM

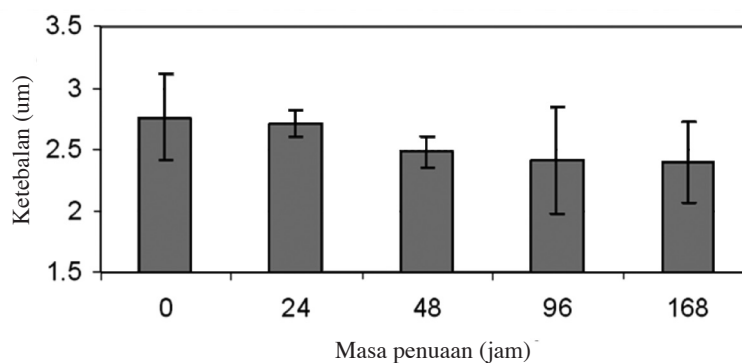
Tujuan kajian ini adalah untuk menilai resapan antara logam di antara setiap lapisan pada penyebar haba selepas keadaan penuaan terma simpanan suhu tinggi. Rajah 3 menunjukkan ketebalan lapisan nikel-fosforus penyebar haba A adalah di antara 3.6  $\mu\text{m}$  dan 4.3  $\mu\text{m}$ . Keputusan ini tidak menunjukkan sebarang aliran perubahan ketebalan lapisan nikel-fosforus. Penjelasan mengenai pembentukan lapisan nikel-fosforus dan nikel-kuprum akan dibincangkan pada bahagian Penentuan Bahan Lapisan Enapan selepas bahagian ini. Di bawah semua keadaan penuaan, penyebar haba A tidak menghasilkan sebarang lapisan antara logam (rujuk Rajah 7(a)). Ini menunjukkan enapan nikel-fosforus adalah menyusun dengan baik mengikut orientasi ke atas permukaan kuprum semasa proses penyaduran nikel tanpa elektrik. Maka, penyaduran nikel tanpa elektrik berupaya untuk memberikan satu salutan anti-kakisan yang kuat ke atas sampel-sampel, seperti yang telah dinyatakan dalam kajian Kanungo et al. (2006).

Rajah 4 menunjukkan ketebalan lapisan nikel-fosforus bagi penyebar haba B, manakala Rajah 5 menunjukkan ketebalan lapisan nikel-kuprum penyebar haba B selepas penuaan terma simpanan suhu tinggi. Rajah 4 menunjukkan ketebalan nikel-fosforus menurun dengan kadar (2.25 nm/jam) yang sedikit daripada ketebalan 2.8  $\mu\text{m}$  pada keadaan permulaan (masa penuaan 0 jam) sehingga ketebalan 2.4  $\mu\text{m}$  selepas 168 jam penuaan. Sementara itu, Rajah 5 menunjukkan ketebalan lapisan nikel-kuprum meningkat dari ketebalan awal 0.2  $\mu\text{m}$  sehingga 0.6  $\mu\text{m}$ . Oleh itu, kedua-dua keputusan menunjukkan resapan antara logam berlaku pada lapisan nikel-kuprum sehingga lapisan yang lain.

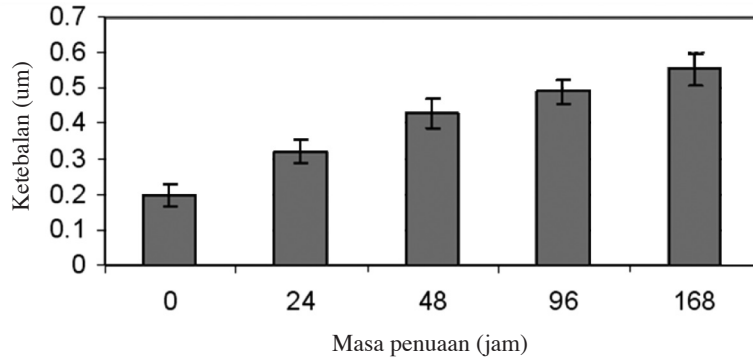
Kaedah penyaduran nipis telah digunakan untuk menyadur dua logam secara kombinasi dan enapan akan menjadi asas bagi proses penyaduran yang berikutnya. Kaedah penyaduran nipis yang biasa menggunakan ketumpatan arus yang tinggi dengan takungan larutan yang mempunyai ketumpatan ion yang rendah. Namun, proses penyaduran ini adalah sangat perlahan dan mengambil masa. Dengan tujuan memendekkan masa penyaduran, pembekal biasanya akan meningkatkan kepekatan ion dalam takungan larutan. Bagaimanapun, jika kadar penguapan terlalu tinggi, lekatan dan kualiti saduran



RAJAH 3. Ketebalan nikel-fosforus penyebar haba A dengan masa penuaan yang berbeza



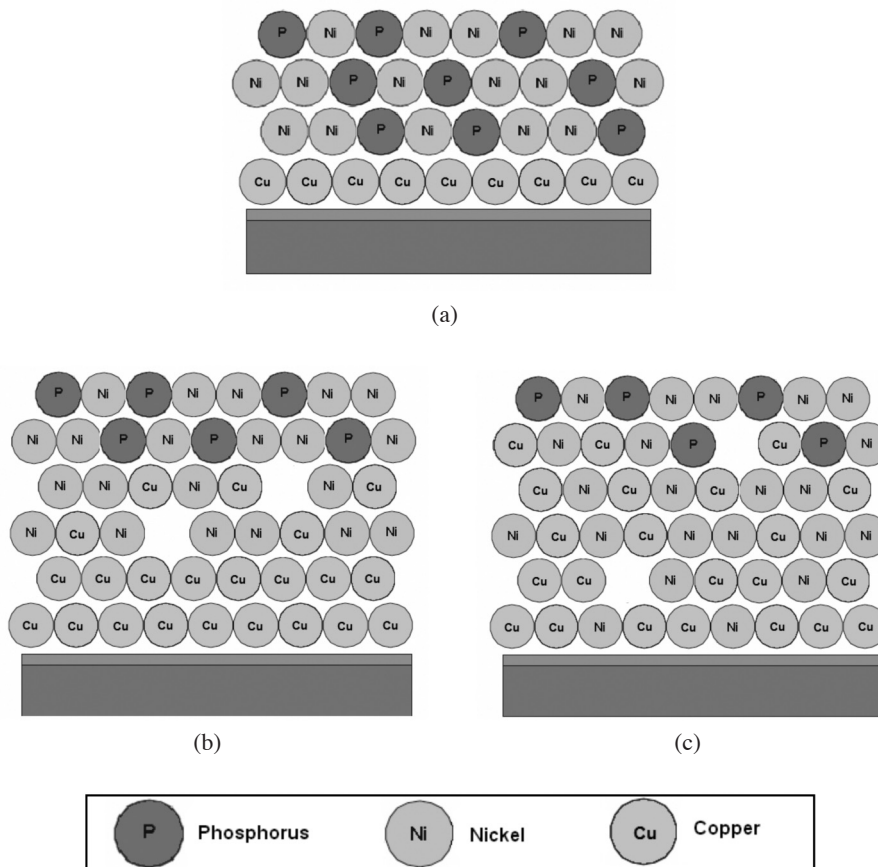
RAJAH 4. Ketebalan nikel-fosforus penyebar haba B dengan masa penuaan yang berbeza



RAJAH 5. Ketebalan nikel-kuprum penyebar haba B dengan masa penuaan yang berbeza

yang lemah akan berlaku. Ini kerana enapan tidak disusun dengan baik pada substrat dan membentuk liang-liang dalam enapan tersebut. Dalam kes penyebar haba B, meningkatkan kadar penyaduran tidak akan menjejaskan kualiti penyaduran. Namun, liang-liang di antara enapan atom-atom telah menggalakkan resapan antara logam bagi lapisan nikel-kuprum.

Rajah 6 menunjukkan model resapan antara logam bagi kedua-dua penyebar haba. Kadar resapan logam nikel-kuprum ( $1.93 \text{ nm/jam}$ ) sangat rendah boleh dianggap berpunca daripada pra-eksponen bebasan suhu yang rendah ( $D_0 = 2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) dan tenaga pengaktifan lebih tinggi ( $Q_d = 256 \text{ J/mol}$ ) kalau dibandingkan dengan logam lain (Cengel 2007).



RAJAH 6. Model resapan antara logam bagi kedua-dua penyebar haba; (a) lapisan penyebar haba pemulaan galvani dan unsurnya (b) lapisan penyebar haba penyaduran nipis nikel-kuprum and unsurnya sebelum uji kaji simpanan suhu tinggi dan (c) apisan penyebar haba penyaduran nipis nikel-kuprum dan unsurnya selepas uji kaji simpanan suhu tinggi

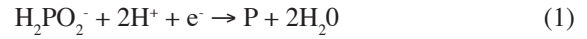


PENENTUAN BAHAN LAPISAN ENAPAN

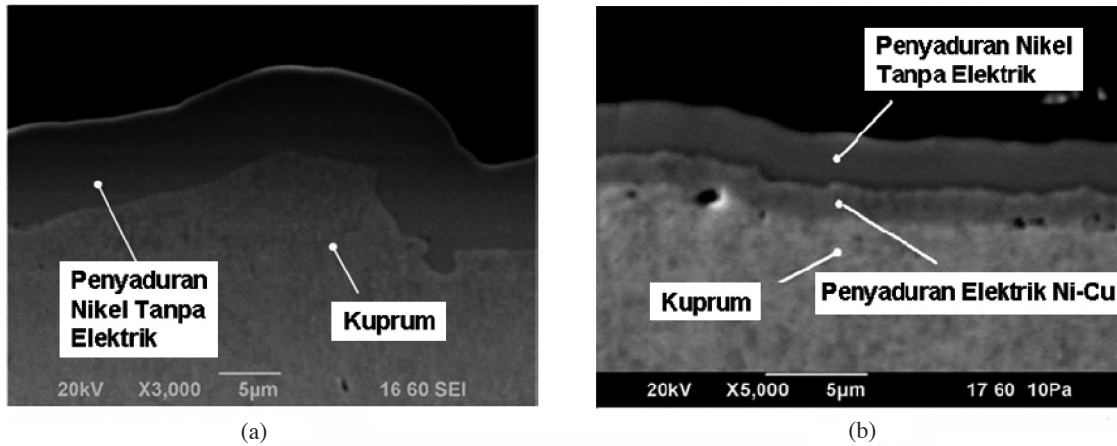
Rajah 7 (a) dan (b) menunjukkan imej Mikroskop Elektron Imbasan yang diambil daripada penyebar haba A dan B masing-masing. Dua lapisan bahan dapat dilihat dalam Rajah 7(a), manakala tiga lapisan bahan dapat dilihat pada Rajah 7(b). Setiap lapisan telah dikaji menggunakan Spektrometer Sinar-X Sebaran Tenaga untuk menentukan unsur yang terdapat pada lapisan tertentu. Rajah 8(a) dan (b) menunjukkan spektrum Spektrometer Sinar-X Sebaran Tenaga lapisan nikel-fosforus. Spektrum yang diambil dari lapisan yang sama pada penyebar haba A dan B menunjukkan keputusan yang sama dalam unsur-unsur yang didapati dalamnya. Ini bermakna setiap lapisan sama dari kedua-dua penyebar haba adalah terdiri daripada unsur yang sama.

Spektrum ini menunjukkan bahawa kuprum dan platinum wujud dalam lapisan kuprum (Rajah 8). Namun, hanya kuprum ialah bahan bagi penyebar haba tersebut. Platinum didapati dalam spektrum ini kerana ia telah

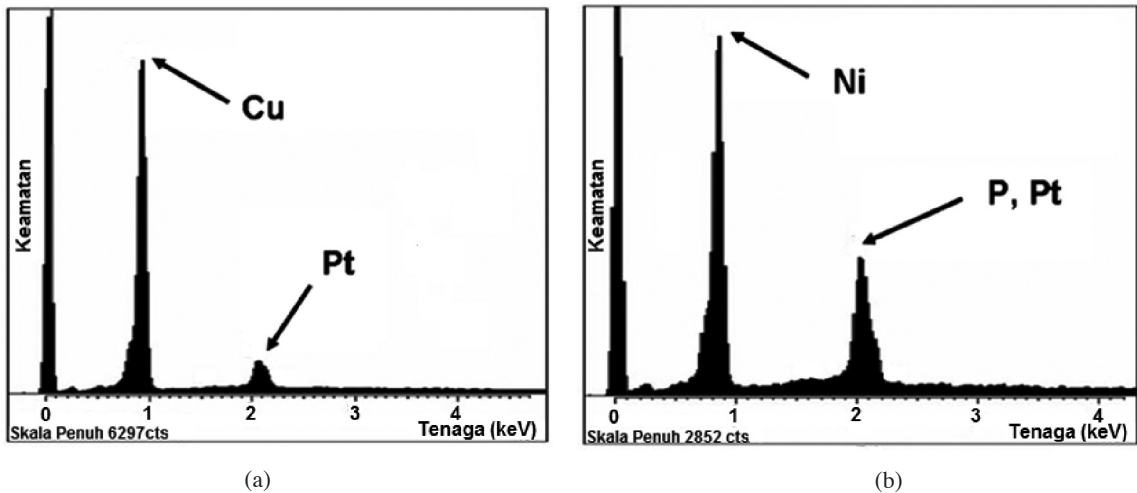
digunakan sebagai bahan saduran bagi mendapat imej Mikroskop Elektron Imbasan yang lebih baik. Dengan ini, platinum yang terdapat pada spektrum spektrometer sinar-X sebaran tenaga yang lain boleh diabaikan dengan alasan yang serupa. Rajah 8(b) menunjukkan nikel and fosforus muncul pada lapisan penyaduran nikel tanpa elektrik. Spektrum tersebut mengesahkan enapan yang terbentuk adalah dihasilkan oleh tindak balas katod penyaduran nikel tanpa elektrik (Saitou et al. 2003) dalam persamaan 1 sehingga 3 seperti berikut:



Daripada persamaan (1) hingga (3), hipofosfat diturunkan menjadi atom fosforus; ion-ion hidrogen



RAJAH 7. Imej-imej SEM bagi kedua-dua penyebar haba (a) penyebar haba A dan (b) penyebar haba B



RAJAH 8. Spektrum spektrometer sinar-X sebaran tenaga bagi kedua-dua penyebar haba (a) lapisan kuprum dan (b) lapisan penyaduran nikel tanpa elektrik

diturunkan menjadi gas hidrogen manakala ion nikel diturunkan menjadi atom nikel dalam tindak-balas katod (Cui et al. 2005). Kedua-dua atom fosforus dan nikel dikenakan ke atas permukaan sampel dan membentuk aloi nikel-fosforus (Ni-P) manakala gas hidrogen dilepaskan ke dalam atmosfera.

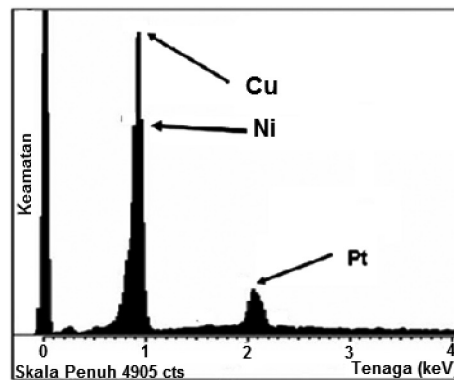
Rajah 9(a) menunjukkan spektrum spektrometer sinar-X Sebaran tenaga bagi lapisan penyaduran elektrik nikel-kuprum untuk penyebar haba B. Kedua-dua puncak unsur nikel dan kuprum adalah bukti dalam spektrum. Tindak-balas katod bagi penyaduran nikel-kuprum (Saitou et al. 2003) adalah ditunjukkan dalam persamaan 4 and 5 seperti berikut:



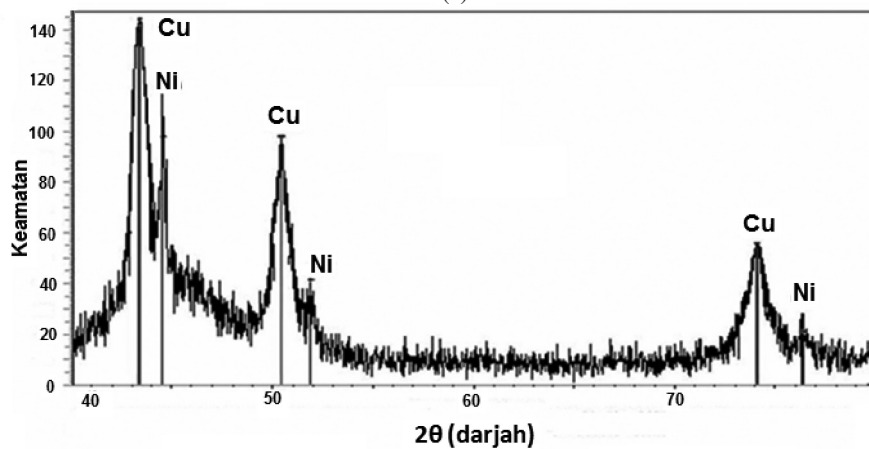
Dalam tindak balas katod di atas, ion-ion nikel dan kuprum dalam larutan sulfamat bertukar menjadi atom-atom nikel dan kuprum (Aschenbrenner et al. 1995). Kedua-dua atom nikel dan kuprum akan dikenakan di atas permukaan substrat untuk membentuk lapisan nikel-kuprum. Menurut kajian lalu, terdapat dua jenis sebatian

antara logam terbentuk dalam aloi nikel-kuprum, yakni  $\text{Cu}_{0.81}\text{Ni}_{0.19}$  (JCPDS nombor fail 47-1406) dan  $\text{Cu}_{3.8}\text{Ni}$  (JCPDS nombor fail 09-0205) (Bakonyi et al. 1999; Kwon et al. 2006). Oleh demikian, sampel penyebar haba telah diimbangi menggunakan pembelauan sinar-X untuk mengenal pasti bahan lapisan nikel-kuprum. Spektrum telah diubahsuai oleh perisian pembelauan sinar-X iaitu DIFFRAC dan EVA antara julat  $40^{\circ}$  dan  $80^{\circ}$  supaya dapat dimasukkan dalam Rajah 9(b).

Rajah 9(b) menunjukkan corak pembelauan sinar-X bagi logam nikel dan kuprum, manakala corak pembelauan sinar-X bagi sebatian antara logam tidak wujud. Logam kuprum tulen menunjukkan ciri pantulan pada sudut  $43.3^{\circ}$ ,  $50.4^{\circ}$  dan  $74.2^{\circ}$  yang berkaitan dengan masing-masing satah (111), (220) dan (220) (JCPDS nombor file 04-0836). Pada masa yang sama, logam Ni juga menunjukkan ciri pantulan pada sudut  $44.4^{\circ}$ ,  $51.8^{\circ}$  dan  $76.4^{\circ}$  yang berkaitan dengan satah (111), (200) dan (220) (JCPDS nombor file 04-0850) (Fritz et al. 2001; Kanungo et al. 2006; Rao et al. 2004). Keputusan spektrum ini menunjukkan bahawa teknik penyaduran nipis nikel-kuprum tidak membentuk sebarang sebatian antara logam di bawah keadaan penuaan terma simpanan suhu tinggi.



(a)



(b)

RAJAH 9. Spektrum EDX dan XRD bagi penyebar haba B (a) spektrum EDX lapisan penyaduran elektrik Ni-Cu dan (b) corak pembelauan sinar-X lapisan penyaduran elektrik Ni-Cu

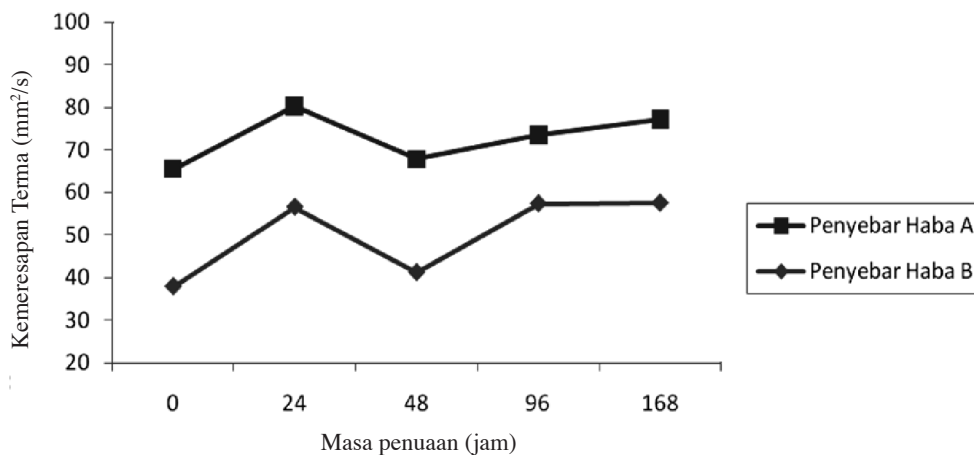
#### KESAN SIMPANAN SUHU TINGGI TERHADAP KEMERESAPAN TERMA

Salah satu sifat terma bahan yang muncul dalam analisis konduksi haba fana adalah kemeresapan terma, yang mewakili kadar haba meresap melalui sesuatu bahan. Kekonduksian terma,  $k$  mewakili keupayaan sesuatu bahan untuk mengkonduksi terma; manakala muatan haba,  $\rho c_p$  mewakili keupayaan sesuatu bahan untuk menyimpan tenaga haba dalam satu unit isipadu. Oleh itu, kemeresapan terma sesuatu bahan boleh dianggap sebagai nisbah bagi haba yang dikonduksi melalui sesuatu bahan kepada haba yang disimpan setiap unit isipadu (Cengel 2007). Rajah 10 menunjukkan kemeresapan terma bagi penyebar haba A dan B.

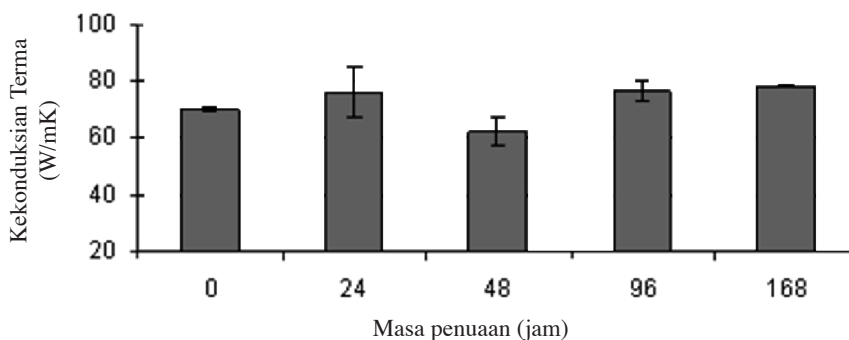
Rajah 10 menunjukkan bahawa simpanan suhu tinggi tidak memberikan kesan yang nyata (meningkat atau menurun) kepada keseluruhan kemeresapan terma bagi penyebar haba. Dengan membandingkan kedua-dua graf ini, keputusan-keputusan menunjukkan dengan jelas dalam setiap keadaan penuaan, kemeresapan terma bagi penyebar haba A adalah lebih tinggi daripada penyebar haba B. Rajah 10 menunjukkan kemeresapan terma bagi penyebar haba A adalah dalam julat  $60 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  hingga  $80 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ , manakala kemeresapan terma bagi penyebar haba B adalah dalam julat  $35 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  hingga  $60 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Kemeresapan terma yang rendah bagi penyebar haba B dianggap berpunca daripada kehadiran aloi nikel dan kuprum.

Adalah diketahui bahawa kekonduksian terma bagi sesuatu aloi yang terdiri daripada dua logam adalah lebih rendah daripada kekonduksian terma bagi logam-logam induk tunggalnya sebelum ia dialoikan. Dengan wujudnya sedikit molekul-molekul asing yang berkonduksi terma yang tinggi dalam logam tulen, ini juga akan menjejaskan haba berkonduksi yang baik dalam logam tersebut. Sebagai contoh, kekonduksian terma bagi kuprum dan nikel masing-masing  $401 \text{ W/mK}$  dan  $91 \text{ W/mK}$ , tetapi kekonduksian terma bagi sejenis aloi nikel-kuprum yang bernama konstantan adalah  $23 \text{ W/mK}$  (Cengel 2007).

Rajah 11 menunjukkan purata kekonduksian terma bagi lapisan enapan nikel-kuprum dalam penyebar haba B selepas masa penuaan yang berbeza. Kekonduksian terma lapisan enapan nikel-kuprum bagi penyebar haba A tidak ditunjukkan sebab hanya penyebar haba B mempunyai lapisan enapan nikel-kuprum. Kekonduksian terma lapisan enapan nikel-kuprum adalah antara  $60 \text{ W/mK}$  dan  $80 \text{ W/mK}$ . Keputusan ini menunjukkan bahawa kekonduksian terma lapisan enapan nikel-kuprum adalah lebih rendah daripada kedua-dua logam tulen nikel dan kuprum. Fenomena ini menjejaskan kemeresapan terma kerana kemeresapan terma adalah berkadar langsung dengan kekonduksian terma. Oleh sebab ini, lapisan penyaduran nipis nikel-kuprum telah memperlahankan kadar resapan haba dalam penyebar haba.



RAJAH 10. Kemerresapan terma untuk penyebar haba A dan B



RAJAH 11. Kekonduksian terma nikel-kuprum untuk penyebar haba B



## KESIMPULAN

Dalam kajian ini, penuaan terma bagi simpanan suhu tinggi pada dua jenis teknik pengaktifan bermangkin yang berbeza (pemulaan galvanik dan penyaduran nipis nikel-kuprum) telah diuji kaji. Kesimpulannya, teknik pemulaan galvanik (penyebar haba A) adalah pilihan yang lebih baik kerana teknik ini memberikan kemeresapan terma yang lebih tinggi bagi penyebar haba dalam semua masa penuaan. Ini kerana teknik pemulaan galvanik tidak membentuk sebarang lapisan enapan aloi nikel-kuprum yang mempunyai kekonduksian terma yang rendah. Tambahan pula, lapisan nikel-kuprum dalam penyebar haba B yang menggunakan teknik penyaduran nipis nikel-kuprum akan menjadi lebih tebal selepas ujian simpanan suhu tinggi. Namun begitu, keputusan agak menggalakan kerana kedua-dua penyebar haba tidak menghasilkan sebatian antara logam selepas penyaduran nikel tanpa elektrik dan ujian simpanan suhu tinggi.

## PENGHARGAAN

Penulis-penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI), Malaysia kerana memberikan bantuan kewangan di bawah geran IRPA number 03-02-02-0121-PR001. Penulis juga memberi penghargaan kepada Dr. Mohd. Hafizuddin Hj. Jumali, Zailan Yusof, Ahmad Zaki Zaini dan Md. Yaakub Yasin dari Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia dalam menghulurkan bantuan dalam eksperimen berkenaan. Penulis-penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada LC Tan dari Freescale Semiconductor bagi sokongannya dalam kajian ini.

## RUJUKAN

- Aschenbrenner, R., Ostmann, A., Beutler, U., Simon, J. & Reichl, H. 1995. Electroless nickel/copper plating as a new bump metallization. *IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part B* 18(2): 334-338.
- Bakonyi, I., Toth-Kadar, E., Toth, J., Becsei, T., Tarnoczi, T. & Kamasa, P. 1999. Magnetic and electrical transport properties of electrodeposited Ni-Cu alloys and Ni<sub>81</sub>Cu<sub>19</sub>/Cu multilayers. *J. Phys.: Condens. Matter* 11: 963-973.
- Cengel, Y.A. 2007. *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach*. 3rd Ed. Boston: McGraw-Hill.
- Chen, Yujin, Cao, Maosheng, Xu, Qiang & Zhu, Jing. 2003. Electroless nickel plating on silicon carbide nanoparticles. *Surface and Coating Technology* 172: 90-94.
- Cui, Guofeng, Li, Ning, Li, Deyu & Chi, Minglei. 2005. Study of optimized complexing agent for low-phosphorus electroless nickel plating bath. *Journal of the Electrochemical Society* 152(10): C669-C674.
- Fritz, T., Mokwa, W. & Schnokenberg, U. 2001. Material characterization of electroplated nickel structures for microsystem technology. *Electrochimica* 47: 55-60.
- Gaal, P.S., Thermitus, M.A. & Stroe, D.E. 2004. Thermal conductivity measurements using the flash method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 78: 185-189.
- JEDEC. 2004. *JESD22-A103C: High Temperature Storage Life*. Arlington: JEDEC Solid State Technology Association.
- Kanungo, J., Pramanik, C., Bandopadhyay, S., Gangopadhyay, U., Das, L., Saha, H. & Gettens, R.T.T. 2006. Improved contacts on a porous silicon layer by electroless nickel plating and copper thickening. *Semicond. Sci. Technol.* 21: 964-970.
- Kwon, Y.S., An, V.V., Ilyin, A.P. & Tikhonov, D.V. 2006. Properties of powders produced by electrical explosions of copper-nickel alloys wires. *Materials Letters* 61: 3247-3250.
- Rao, G.R., Mishra, B.G. & Sahu, H.R. 2004. Synthesis of CuO, Cu and CuNi alloy particles by solution combustion using carbazide and N-tertiarybutoxy-carbonylpiperazine fuels. *Materials Letters* 58: 3523-3527.
- Saitou, M., Okudaira, Y. & Oshikawa, W. 2003. Amorphous structures and kinetics of phosphorous incorporation in electrodeposited Ni-P thin films. *Journal of the Electrochemical Society* 150(3): C140-C143.
- Samson, E.C., Machiroutu, S.V., Chang, J.Y., Santos, I., Hermerding, J., Dani, A., Prasher, R. & Song, D.W. 2005. Interface material selection and thermal management technique in second-generation platforms built on Intel Centrino mobile technology. *Intel Technology Journal* 9(1): 75-86.
- Sartorelli, M.L., Schervenski, A.Q., Delatorre, R.G., Klauss, P., Maliska, A.M. & Pasa, A.A. 2001. Cu-Ni thin films electrodeposited on Si: composition and current efficiency. *Phys. Stat. Sol. (a)* 187(1): 91-95.
- Singh, S., Ghosh, S.K., Basu, S., Gupta, M., Mishra, P. & Grover, A.K. 2006. Structural and magnetic study of an electrodeposited Ni/Cu thin film by neutron reflectometry. *Electrochemical and Solid-State Letters* 9(3): J5-J8.
- Watanabe, H. & Honma, H. 1998. Direct electroless nickel plating on copper circuits using DMAB as a second reducing agent. *IEMT/IMC Proceedings*: 149-53.
- Yamada, T., Yamamoto, A., Fujiwara, M. & Kunigi, Y. 1993. Strength evaluation and effect of graphite on strength of electroless nickel plating on cast iron. *Journal of Materials Science* 28: 3513-3518.
- Victor Lim\* & Nowshad Amin  
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem  
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia
- C.S. Foong  
Freescale Semiconductor, (M) Sdn. Bhd.  
No. 2, Jalan SS 8/2  
Free Industrial Zone Sungei Way  
Petaling Jaya 47300 Selangor D.E.  
Malaysia
- Ibrahim Ahmad  
Department of Electronics and Communication  
College of Engineering  
University Tenaga Nasional  
43009 Kajang, Selangor D.E.  
Malaysia
- Azami Zaharim  
Unit Pengajian Asas Kejuruteraan  
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina

Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia

Rozaidi Rasid & Azman Jalar  
Advanced Semiconductor Packaging Laboratory  
Institute of Micro Engineering and Nanoelectronics  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat: email: victorlimch@hotmail.com

Diserahkan: 14 Julai 2009

Diterima: 7 Julai 2010