

PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN BAHAN PATERI BEBAS PLUMBUM ALOI
STANUM-ARGENTUM-KUPRUM (Sn-Ag-Cu)

MOHD RIDZUAN BIN ISHAK

DISERTASI YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA
MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN DALAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK

PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

APRIL 2007

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: PENYEDIAAN DAN PENCIRIAN BAHANPATERI BEBAS PLUMBUM ALOI STANUM-ARGENTUM-KUPRUM Cu-Ag-CuIJAZAH: SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN DALAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIKSESI PENGAJIAN: 2003Saya MOHD RIDZUAN BIN ISHAK

(HURUF BESAR)

mengaku mbenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)DR. HAIDER F. ABDAL AMIR

Nama Penyelia

Taraf Tetap: 214 BATU 6½

TLN KAKI BUKIT, 02400 BESERI, PERLIS

Tarikh: 18 APRIL 2007

Tarikh: _____

TATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

@ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

17 APRIL 2007



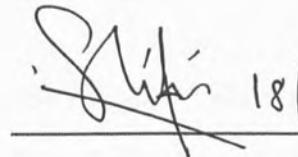
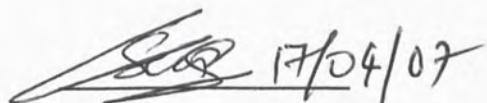
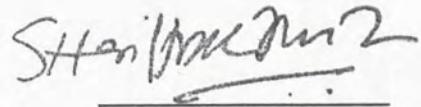
MOHD RIDZUAN BIN ISHAK
HS 2003 - 3346



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

DIPERAKUKAN OLEH**1. PENYELIA****(Dr. Haider F. Abdul Amir)**

Tandatangan

 18/4/07**2. PEMERIKSA 1****(En. Saafie Bin Salleh)** 18/4/07**3. PEMERIKSA 2****(Cik Fauziah Binti Sulaiman)** 17/04/07**4. DEKAN****(Supt/KS. Prof. Madya Dr. Shariff A.K Omang)**

PENGHARGAAN

-Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah Lagi Maha Penyayang-

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan izin-Nya dapat juga saya menjilidkan penulisan disertasi ini. Ribuan terima kasih diucapkan kepada penyelia saya, Dr. Haider F. Amir yang banyak memberikan tunjuk ajar dan nasihat yang berguna kepada saya.

Sekalung penghargaan juga buat En. Saafie Salleh, En. Rahim dan staf-staf di Sekolah Sains dan Teknologi yang terlibat secara langsung dan tidak langsung kerana sentiasa memberi bantuan dan kerjasama bagi menyiapkan projek ini dengan menyediakan peralatan dan bahan yang diperlukan.

Tidak lupa juga terima kasih kepada rakan-rakan seperjuangan yang cekal menghadapi semester akhir bersama saya dengan memberikan idea dan sokongan moral.

Terima kasih tidak terhingga buat keluarga saya terutama buat emak, Rabiah Bte. Kamis dan juga ayah, Ishak B. Hj. Hashim yang telah banyak berkorban tenaga, masa dan segala-galanya untuk menjadikan saya insan berguna.

Penulisan disertasi ini ditujukan kepada insan teristimewa, Jamilah Bte. Mohamad yang sering menjadi cetusan ilham untuk saya berkarya. *Love is life's wonder!*



ABSTRAK

Bahan pateri stanum-argentum-kuprum dengan peratusan di antara 98%Sn-1%Ag-1%Cu hingga 84%Sn-8%Ag-8%Cu disediakan dengan menggunakan teknik peleburan di mana tiga jenis logam iaitu stanum (Sn), argentum (Ag) dan kuprum (Cu) dileburkan di dalam relau pemanasan. Sampel yang dihasilkan di ukur kerintangan dan kekonduksian dengan menggunakan kaedah penduga empat titik. Sampel ini disediakan untuk memilih peratusan campuran stanum-argentum-kuprum yang paling sesuai untuk menggantikan stanum-plumbum sebagai aloi pateri bebas plumbum. Sampel 8 dengan peratusan 84%Sn-8%Ag-8%Cu merupakan sampel yang mempunyai kerintangan paling rendah iaitu $57.0 \times 10^{-7} \Omega.cm$ dan kekonduksian yang paling tinggi iaitu $175 \times 10^3 \Omega^{-1}cm^{-1}$ serta sesuai digunakan sebagai aloi pateri bebas plumbum. Selain itu juga, bahan sampel alternatif yang boleh digunakan sebagai aloi pateri bebas plumbum ialah sampel 7 dengan peratusan 86%Sn-7%Ag-7%Cu kerana sampel ini juga mempunyai kerintangan yang agak rendah dan kekonduksian yang tinggi serta mempunyai campuran bahan argentum dan kuprum dengan peratusan yang kecil iaitu 7% sahaja. Pertambahan logam argentum dan kuprum dalam peratusan sampel menyebabkan kerintangan menurun. Secara kesimpulannya, aloi pateri bebas plumbum yang sesuai untuk menggantikan aloi pateri berplumbum adalah stanum-argentum-kuprum dengan peratusan 84%Sn-8%Ag-8%Cu.

ABSTRACT

Stanum-argentum-copper alloys with various percentages from 98%Sn-1%Ag-1%Cu till 84%Sn-8%Ag-8%Cu were prepared using melting method which three metals; ie. stanum (Sn), argentum (Ag) and copper (Cu) were melted on a furnace. Resistivity and conductivity were measured to the sample produced using four point probe method. This sample was produced to choose the most suitable percentage of mixed stanum-argentum-copper to replace stanum-plumbum as a lead-free alloy solders. Sample 8 with 84%Sn-8%Ag-8%Cu percentage was the sample which has the lowest resistivity that is $57.0 \times 10^{-7} \Omega.cm$ but the highest conductivity that is $175 \times 10^3 \Omega^{-1}cm^{-1}$ and found suitable to be used as a lead-free alloy solders. Besides that, other alternatives sample could be used as a lead-free alloy solders is sample 7 with 86%Sn-7%Ag-7%Cu percentage. This is because this sample also has low resistivity and quite high conductivity. It also has small percentage of mixed argentum and copper which is 7% only. Additional argentum and copper in the sample percentage caused to decreasing of resistivity. As a conclusion, the most lead-free alloy solder that can replace lead alloy solder is stanum-argentum-copper with 84%Sn-8%Ag-8%Cu in percentage.

KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI GRAF	xi
SENARAI FOTO	xii
SENARAI SIMBOL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 PENGENALAN	1
1.2 MATLAMAT PROJEK	4
1.2.1 Tujuan	4
1.2.2 Objektif	4
1.2.3 Skop kajian	5
BAB 2 ULASAN PERPUSTAKAAN	6
2.1 PEMATERIAN	6
2.1.1 Aloi Pateri	8
2.1.2 Sifat Pateri	10
2.2 KOMBINASI ALOI SN-AG-CU	11
2.2.1 Teori Elektron Bebas Terhadap Sn-Ag-Cu	13
2.3 KERINTANGAN	16
2.4 KEKONDUKSIAN	18
2.5 TEORI PENDUGA EMPAT TITIK	19
2.5.1 Faktor Pembetulan	21
2.6 RALAT DAN KETAKPASTIAN	23
2.6.1 Sisihan Piawai	25
BAB 3 METODOLOGI DAN BAHAN	27
3.1 PENGENALAN	27

3.2	PENYEDIAAN BAHAN DAN PERALATAN EKSPERIMEN	28
3.3	LANGKAH-LANGKAH EKSPERIMEN	29
3.3.1	Kaedah Penyediaan Sampel Menggunakan Relau Pemanasan	30
3.3.2	Kaedah Pencirian Menggunakan Penduga Empat Titik	32
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	34
4.1	HASIL PENYEDIAAN SAMPEL	34
4.2	FAKTOR PEMBETULAN	37
4.3	KERINTANGAN ELEKTRIK DAN KEKONDUKSIAN	39
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	49
RUJUKAN		51
LAMPIRAN A		55
LAMPIRAN B		56
LAMPIRAN C		57
LAMPIRAN D		64
LAMPIRAN E		65



SENARAI JADUAL

No.	Tajuk Jadual	Muka Surat
2.1	Kerintangan logam pada suhu 20° C .	16
3.1	Bahan dan peralatan bagi tujuan penyediaan dan pencirian sampel.	28
4.1	Nilai bacaan tebal, t dan diameter, d yang diperolehi daripada lapan jenis sampel yang berbeza dengan pelbagai peratusan berat komposisi.	35
4.2	Bacaan nilai diameter d bagi setiap sampel yang berlainan peratusan berat.	55
4.3	Bacaan nilai ketebalan t bagi setiap sampel yang berlainan peratusan berat.	56
4.4	Nilai faktor pembetulan bagi setiap sampel yang berlainan peratusan berat.	38
4.5	Purata nilai nisbah voltan per arus bagi setiap sampel yang berlainan peratusan berat.	64
4.6	Nilai $\left(\frac{V}{I}\right)$ bagi setiap sampel yang berlainan peratusan berat.	40
4.7	Nilai kerintangan ρ dan kekonduksian σ bagi sampel yang pelbagai peratusan berat komposisi.	42



SENARAI RAJAH

No	Tajuk Rajah	Muka Surat
2.1	Skematik proses pateri.	6
2.2	Gambaran fenomena kebasahan pada substrat melalui pematerian.	7
2.3	Gambaran rajah pertigaan bagi sistem eutektik.	9
2.4	Ilustrasi tenaga elektron dalam tenaga keupayaan kekisi.	13
2.5	Hubungan di antara kerintangan ρ dan suhu T .	14
2.6	Perbandingan antara kerintangan ρ daripada ujikaji dan teori klasik.	16
2.7	Skematik bagi kaedah penduga empat titik.	20
2.8	Lakaran pengukuran menggunakan penduga empat titik.	21



SENARAI GRAF

No	Tajuk Graf	Muka Surat
4.1	Nilai kerintangan bagi setiap sampel dengan pelbagai peratusan berat.	44
4.2	Nilai kekonduksian bagi setiap sampel dengan pelbagai peratusan berat.	45



SENARAI FOTO

No	Tajuk Foto	Muka Surat
3.1	Relau model <i>Carbolite</i> yang digunakan bagi tujuan peleburan.	30
3.2	Set perkakasan penduga empat titik Model Keithley.	32



SENARAI SIMBOL

$^{\circ}\text{C}$	Darjah Celcius
α	Pekali suhu
\hbar	Pemalar Planck
ρ	Kerintangan
σ	Kekonduksian
\bar{x}	Purata atau nilai min
Ω	Ohm
a/o	Peratusan atom bahan
w/o	Peratusan berat bahan
Ag	Argentum
Cu	Kuprum
d	Diameter
E	Medan elektrik
F	Faktor pembetulan
I	Arus
J	Ketumpatan arus
K	Kelvin
Pb	Plumbum
R	Rintangan
s	Jarak di antara titik penduga
Sn	Stanum
V	Voltan



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Kajian ilmiah yang dilakukan ini adalah bagi menyediakan dan mencirikan sampel bahan pateri aloi stanum-argentum-kuprum (Sn-Ag-Cu). Terdapat pelbagai kaedah yang boleh digunakan semasa penyediaan sampel melalui mod pemanasan yang berbeza seperti teknik pengaliran, pemanasan, radiasi inframerah, pemeluwapan wap dan juga alur laser. Setiap kaedah ini mempunyai keistimewaan dan kebaikan dari segi kos, perlaksanaan dan kecekapan operasi yang tersendiri dan pemilihan bagi kaedah ini haruslah bergantung kepada takat lebur dan kualiti bahan yang dikehendaki.

Dalam kajian ilmiah ini, penggunaan relau pemanasan akan digunakan bagi proses penyediaan sampel. Pemilihan terhadap alat ini adalah bersesuaian dengan sifat-sifat Sn-Ag-Cu kerana mempunyai takat lebur sederhana tinggi yang mana memerlukan kaedah peleburan untuk tujuan kombinasi bahan. Tidak seperti Plumbum yang mempunyai takat lebur rendah dan elemen bertoksik mudah larut dengan alam semulajadi menjadikannya bahan berbahaya untuk diaplikasikan dalam kehidupan.



Di samping itu, pencirian terhadap sampel yang telah dihasilkan juga akan dilakukan. Ujikaji pencirian ini adalah melalui sifat-sifat elektriknya iaitu kekonduksian dan kerintangan dengan menggunakan alat Penduga Empat Titik bagi mengkaji sampel yang mempunyai pelbagai peratusan berat komposisi bahan yang berbeza.

Aloi Sn-Ag-Cu dikatakan memiliki suhu lingkungan peleburan yang terbatas. Dengan itu, suhu bersifat homolog dan mempunyai rintangan rayapan yang baik kerana aloi ini mengalami pencacatan masa bersandar. Keadaan ini memberikannya keupayaan yang baik bagi menggantikan bahan pateri stanum-plumbum (Sn-Pb) yang konvesional sifatnya dalam kaedah pematerian bentuk gelombang dan aliran semula (Manko, 1995).

Tambahan pula, kemampuan sifat-sifat fizikal dan kimianya untuk sangat mudah mengewap dan juga senang diperolehi, membolehkan penggunaan aloi Sn-Ag-Cu ini berkembang luas dalam penyediaan sampel seperti pada teknologi litar terkamir (IC) yang begitu sinonim dengan kemajuan nanoteknologi ketika ini.

Dengan kewujudan teknologi pematerian ini litar menjadi kecil, maka maklumat dapat diproses dengan lebih pantas, penggunaan kuasa dapat diminimumkan dan kos pembuatan juga menjadi murah. Malahan ia dapat menjamin keselamatan disamping memelihara persekitaran agar tidak tercemar. Pematerian ini juga memiliki kekonduksian elektrik yang tinggi dan kerintangan yang rendah

menjadikannya sebagai pilihan utama untuk diterokai oleh sektor pembuatan industri elektronik (Kang, 2002).

Selain itu, bahan pateri ini turut digunakan secara meluas di dalam teknologi litar terkamir monolitik dan hibrid mikroelektronik dengan kewujudannya dalam sektor industri semikonduktor yang mana teknik seperti *surface mount technology* dilakukan ke atas papan litar (Manko, 1995).

Jadi tidak hairanlah jika teknologi pematerian ini juga turut diaplikasikan pada litar berfrekuensi tinggi dan litar berketumpatan tinggi memandangkan terdapat banyak kelebihan yang ada pada Sn-Ag-Cu kerana mempunyai kualiti, kestabilan, reliabiliti, dan kebolehlenturan yang tinggi sebelum dan semasa penggunaannya. Kini bahan pateri bebas plumbum ini telah banyak berkembang di dalam sektor perindustrian, pertahanan, angkasa dan perkomputeran di beberapa negara maju (Landers *et.al*, 1994).

Bahan aloi pateri Sn-Ag-Cu dapat juga dimanfaatkan sebagai sumber kepada alatan haba yang kurang baik seperti yang berlaku di dalam sistem yang mengandungi cecair organik. Berbanding dengan bahan pateri biasa yang sering digunakan, pateri penyambungan Sn-Ag-Cu menunjukkan kecekapan yang lebih tinggi dan jangka hayat yang lebih panjang semasa fenomena seperti *sudden contraction* berlaku pada paip.

Melalui pengkajian terhadap sifat elektrikal aloi Sn-Ag-Cu ini, diharapkan agar kepentingan terhadap penggunaan dan kualitinya di dalam bidang penyelidikan

mahupun bidang perindustrian dapat diperbaiki, sejajar dengan aplikasi teknologi pematerian supaya dapat menyambungkan dan melancarkan litar elektronik.

1.2 TUJUAN

Tujuan utama kajian ini adalah untuk menyediakan bahan pateri bebas plumbum aloi Sn-Ag-Cu dan mencirikannya secara elektrikal iaitu dari perspektif kerintangan dan kekonduksian, di mana sampel akan disediakan dengan menggunakan relau pemanasan manakala pencirian terhadap sifat-sifat elektrikalnya akan dikaji menggunakan alat penduga empat titik.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Antara objektif yang akan dicapai ketika menjalankan kajian ini adalah:

- 1) Menyediakan bahan pateri bebas plumbum aloi Sn-Ag-Cu melalui kaedah peleburan menggunakan relau pemanasan dengan pelbagai peratusan berat bahan.
- 2) Mengukur nilai kerintangan dan kekonduksian pada sampel dengan menggunakan penduga empat titik.



- 3) Mendapatkan nilai peratusan berat komposisi bahan pateri bebas plumbum aloi Sn-Ag-Cu yang paling sesuai bagi menggantikan bahan pateri aloi Sn-Pb dalam pematerian.

1.4 SKOP KAJIAN

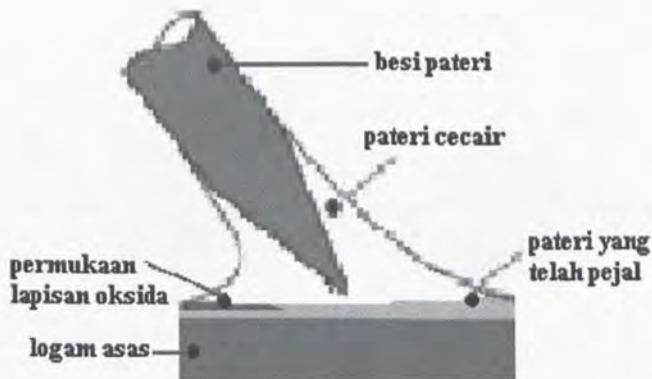
Kajian ini dilakukan dengan menyediakan bahan pateri daripada aloi Sn-Ag-Cu melalui kaedah peleburan dengan peratusan berat komposisi bahan dari 98%Sn-1%Ag-1%Cu hingga 84%Sn-8%Ag-8%Cu. Manakala dalam eksperimen pencirian sampel, hanya sifat kekonduksian dan kerintangan yang akan dikaji.

BAB 2

ULASAN PERPUSTAKAAN

2.1 PEMATERIAN

Suatu teknik penyambungan metallurgi yang membabitkan likatan logam cair yang membasahi permukaan kedua-dua logam yang akan disambung pada suhu bawah 400°C boleh dikategorikan sebagai pematerian. Pematerian juga boleh dilakukan melalui kaedah pengaliran, pemanasan, radiasi inframerah, pemeluwapan wap, rangsangan dan juga alur laser (Lau, 1991).

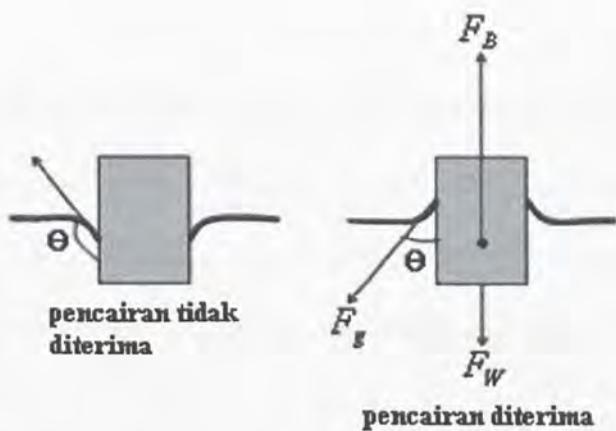


Rajah 2.1 Skematic proses pateri (Ani Idris dan Jasmi Hashim, 1997)

Penyediaan bahan pateri boleh dihasilkan dengan pelbagai peratusan berat komposisi bahan dan dapat juga dibentuk bagi memenuhi keperluan industri dan

perdagangan. Proses peleburan campuran logam aloi pateri biasanya bergantung kepada takat lebur dan kuantiti bahan yang diperlukan dan dilakukan dalam keadaan terkawal supaya suatu kualiti yang baik pada bahan pateri dengan kehadiran bendasing yang kecil dapat dihasilkan. Tempoh peleburan yang bersesuaian adalah perlu kerana terdapat beberapa logam yang boleh wujud dalam beberapa struktur pada julat suhu yang berlainan (Mustaffa, 1991).

Antara bentuk bahan pateri yang biasa digunakan adalah seperti bentuk serbuk, bebola, bar, cecair, wayar dan sebagainya. Umumnya, penyambungan pateri bergantung kuat terhadap kebasahan (*wettability*) pada permukaan logam yang telah dipateri. Keadaan *wettability* hanya berlaku apabila daya lekitan melebihi daya jeleketan. Dan semua teknik pematerian mempunyai suhu lebur yang lebih rendah daripada logam yang hendak disambung dan tiada bahagian logam induk yang akan lebur semasa proses ini dilakukan (Ani Idris dan Jasmi Hashim, 1997).



Rajah 2.2 Gambaran fenomena kebasahan pada substrat melalui pematerian (Manko, 1995)

2.1.1 Aloi Pateri

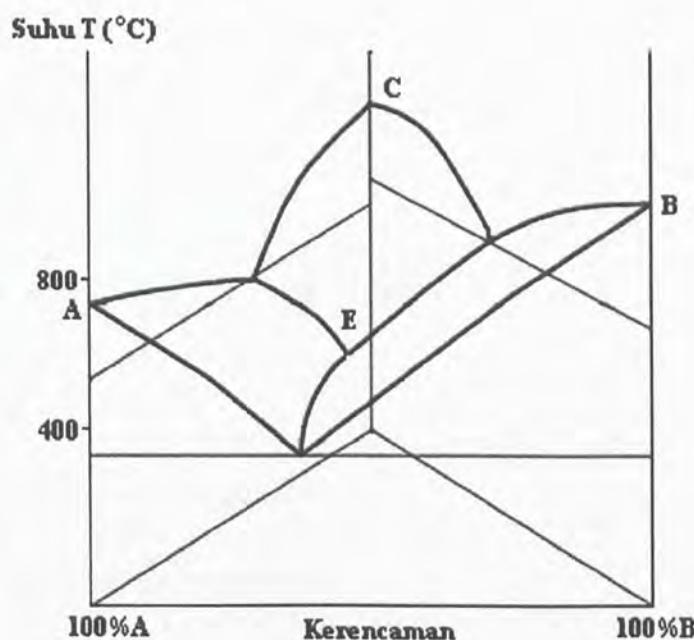
Pateri amnya dirujuk sebagai aloi boleh lakur dengan suatu cecair pada keadaan suhu bawah 400° C. Aloi pateri boleh mengandungi elemen seperti stanum (Sn), plumbum (Pb), argentum (Ag), bismut (Bi), indium (In), antimoni (Sb) dan kadmium (Cd). Namun, setelah penggunaan pateri aloi SnPb diharamkan dan dihadkan oleh kesatuan eropah, maka evolusi pateri aloi bebas plumbum telah giat dibangunkan bagi memenuhi permintaan pasaran global. Kebiasaannya, aloi pateri yang digunakan ini adalah dari aloi sistem perduaan dan juga sistem pertigaan (Lau, 1991).

Pada suhu tinggi, pencacatan rayapan untuk aloi sistem pertigaan tertentu adalah dihubungkan dengan pembentukan corak pencacatan seragam secara relatif. Dalam pateri, retak boleh terjadi dibawah kekuatan maksimumnya apabila dikenakan tegasan yang berulang-ulang atau berkitar yang mana fenomena ini dikenali sebagai fatig (Mustaffa, 1991).

Pada hakikatnya, terdapat beberapa kelebihan yang ada pada sistem ini jika dibandingkan dengan aloi sistem perduaan. Pertambahan kerintangan fatig bagi aloi sistem pertigaan menunjukkan keputusan dari penangguhan penghaburan semula fatig dan mekanisme kegagalan pelembutan daripada suatu kesekatlakuan yang sempurna (Lau, 1991).

Apabila tiga komponen wujud dalam sistem, kerencaman terhadap sebarang campuran tidak boleh diwakili dengan suatu titik pada suatu garisan sahaja. Daripada

rajah pertigaan untuk sistem hipotesis bagi tiga komponen A, B dan C semuanya adalah tidak larut terus antara satu dengan yang lain dalam keadaan pepejal. Keadaan ini dapat digambarkan pada rajah 2.3 dibawah. Dalam sistem ini, setiap pasang komponen akan membentuk suatu sistem eutektik mudah dan tiga komponen pula akan membentuk eutektik pertigaan. Eutektik adalah merupakan suatu titik di atas garis cecairan (Mohd. Razali, 1994).



Rajah 2.3 Gambaran rajah pertigaan bagi sistem eutektik

Malah, dapat juga dilihat bahawa lengkung cecair untuk sistem perduaan membentuk permukaan lengkung dalam sistem pertigaan dan titik eutektik untuk setiap rajah perduaan menjadi garisan eutektik dengan tiga garisan eutektik bersilang pada titik E iaitu titik eutektik pertigaan (Ani Idris dan Jasmi Hashim, 1997).

2.1.2 Sifat Pateri

Analisis mengenai sifat-sifat mekanikal bahan dalam keadaan tegangan, mampatan, ricihan dan lenturan sangat dititikberatkan supaya dapat diketahui kebolehtahanan dan keupayaan suatu pematerian itu. Semua ini bergantung pada komposisi, ketulenan, asal usul, suhu dan konfigurasi geometri bahan yang digunakan. Namun, dalam kes aloi, analisis tegangan lebih banyak di ambil kira berbanding dengan mampatan. Untuk mentakrifkan sebarang perubahan dalam terikan ricih terdapat dua komponen yang akan mempengaruhi dan persamaan adalah (Lau, 1991):

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_e + \Delta\gamma_p \quad (2.1)$$

Di mana:

$\Delta\gamma_e$ = Perubahan terikan ricih elastik

$\Delta\gamma_p$ = Perubahan terikan ricih plastik

Pada suhu tinggi, terikan bersandar kepada masa kerana tegasan yang rendah juga boleh menyebabkan keadaan ubah bentuk plastik yang mana dikenali sebagai rayapan. Keadaan ini berlaku kerana sejumlah besar atom akan bergerak ke kedudukan yang baru sebagai tindak balas terhadap tegasan (Mohd. Razali, 1994).

Kadar rayapan berlaku dengan lebih cepat dalam bahan yang mempunyai ira kecil jika dibandingkan dengan bahan yang sama tetapi mempunyai kurang sempadan ira per unit isipadu. Ini bermaksud bahawa pada suhu tinggi bahan yang mempunyai

RUJUKAN

- Abd El-Ati, M. I., 1997. *Electrical Conductivity of PbTe Thin Film*. *Journal of Physics*, Egypt, 39.
- Aihara, M., 2000. *Material properties and practical use situation of Sn-Ag-Bi system solder*. Harima Chemicals, INC.
- Ani Idris dan Jasmi Hasim (ptjr.), 1997. *Pengenalan Kepada Bahan Kejuruteraan*. Ed. ke-3. Universiti Teknologi Malaysia, Johor, 429-431.
- Blakemore, J. S., 1995. *Fizik Keadaan Pepejal*. Dewan Bahasa dan Pustaka (ptjr.), Kuala Lumpur, 172-173.
- Boas, M. L., 1993. *Kaedah Matematik Dalam Sains Fizikal*. Dewan Bahasa dan Pustaka (ptjr.), Kuala Lumpur, 80-83.
- Burhanuddin Yeop Majlis, 1988. *Makmal Elektronik*. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, 9-11.
- Carsace, C., Uner, J. dan Theriault, M., 2001. *Inert Soldering With Lead-Free Alloy: Review And Evaluation*. www.GoAPEX.org, Versailles, France.

Chiu, Y. F., Tsai, Y. L., dan Hwang, W. S., 2003. Mathematical modeling for the solidification heat-transfer phenomena during the reflow process of lead-tin alloy solder joint in electronics packaging. *Applied Mathematical Modelling* 27 (7).

Elwell, D. dan Pointon, A. J., 1995. *Fizik untuk Jurutera dan Ahli Sains*. Dewan Bahasa dan Pustaka (ptjr.), Kuala Lumpur, 331-332.

Floyd, T. L., 2003. *Principles of Electric Circuits*. Ed. ke-7. Pearson Education, New Jersey, 50.

Halliday, D., Resnick, R. dan Walker, J., 2001. *Fundamental of Physics*. Ed. ke-6. John Wiley & Sons, New York, 617-620.

Islam, S. S., 2006. *Semiconductor Physics and Devices*. Oxford University Press, India.

Kang, S. K., 2002. *Recent progress in lead (Pb) free solders and soldering technology*. IBM T. J. Watson Research Centre, United States of America.

Landers, T. L., Brown, W. F., Fant, E. W., Malstrom, E.M., dan Schmitt, N. M., 1994. *Electronic Manufacturing Process*. Prentice-Hall, United States of Amerika.

Lau, J. H., 1991. *Solder Joint Reliability Theory and Application*. Van Nostrand Reinhold, United States of America, 69-75.

Manko, H. H., 1992. *Solders and soldering*. Ed. ke-3. McGraw-Hill, New York.

Manko, H. H., 1995. *Soldering Handbook for Printed Circuits and Surface Mounting*. Ed. ke-2. Chapman & Hall, United States of America, 191-193.

Martin, K. dan Secker, P. E., 1974. An optimized photocathode for mobility measurements in liquids. *Journal of Physics E: Scientific Instruments* 7.

Mizutani, U., 2001. *Introduction to the Electron Theory of Metal*. Cambridge University Press, United Kingdom.

Mohd. Razali Muhamad (ptjr), 1994. *Bahan Untuk Kejuruteraan Konsep dan Penggunaannya*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur, 23-30.

Mohd. Yusof Hj. Othman, 1986. *Analisis Ralat dan Ketakpastian Dalam Amali*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.

Muhammad bin Yahya, 1989. *Pengenalan Fizik Keadaan Pepejal*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Selangor, 128-136.

Mustaffa Hj. Abdullah, 1991. *Sains Bahan Jilid 1*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur, 127-129.

Sadiku, M. N. O., 2001. *Element of Electromagnetics*. Ed. ke-3. Oxford University Press, New York, 161-167.

Schroder, D. K., 1990. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Arizona State University, Arizona, 1-9.

Seelig, K., Jan 1998. *Understanding lead-free alloys*. AIM Corporation.

Seelig, K. dan Suraski, D., 2003. *A comparison of tin-silver-copper lead free solder alloys*. AIM Corporation.

Strongin, M., Miller, D. L., Budhani, R. C. dan Ruckman, M. W., 1991. *Encyclopedia of Physics-Second Edition*. New York, 1276-1280.

Suri, A. K. dan Banerjee, S., 1996. Tm, Dim: Cam, R.W., Haasen, P. dan Kremer, E: J. (pnyt.) *Material Science and Technology: Structure and Properties of Nonferrous Alloys*. VCH, New York, 23-70.

Technical Data Sheet, 2005. *Properties of Alloys of Multicore: Solder Wires*. Asia Henkei Malaysia Sdn. Bhd.

The Columbia Electronic Encyclopedia, 2003. Edisi ke-6, Columbia University Press.

Ulaby, F. T., 2004. *Fundamentals of Applied Electromagnetics*. Pearson Prentice Hall, United Stated Of America, 156-160.

Zettili, N., 2001. *Quantum Mechanics Concepts and Applications*. John Wiley & Sons, England.