

**PEMBENTUKAN DAN PENCIRIAN KOBALT  
SILISIDA ATAS WAFER SILIKON (111) PADA  
SUHU SUBSTRAT DAN SEPUH LINDAP YANG  
BERBEZA-BEZA**

**OLEH**

**NOORHISYAM ABDUL HAMID**

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi Ijazah Sarjana  
Sains**

**November 2005**

## **PENGHARGAAN:**

Bersyukur saya kepada Allah S.W.T kerana diberi umur yang panjang untuk menghabiskan kajian ini tanpa sebarang masalah. Tanpa bantuan dari-Nya, kajian ini akan menjadi sia-sia.

Saya ingin merakamkan ribuan terima kasih kepada penyelia saya, Prof. Kamarulazizi dan Dr. Zainuriah kerana banyak memberi panduan, tunjuk ajar serta idea idea yang kreatif dalam mengatasi pelbagai masalah yang saya hadapi sepanjang projek ini dijalankan. Ribuan terima kasih juga saya ucapkan kepada penyelia asal saya, Dr. Zul Azhar Zahid Jamal kerana bertungkus lumus berusaha untuk memastikan saya berjaya dalam projek ini. Dengan bantuan mereka, semangat saya untuk menjalankan projek ini amat tinggi dan Alhamdulillah saya telah berjaya menghabiskannya.

Seterusnya, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada kakitangan Pusat Pengajian Sains Fizik, USM, khususnya Cik Ee Bee Choo dan En. Muthalib atas kerjasama, bantuan serta kaedah yang diberikan untuk mengendalikan peralatan makmal serta pembekalan bahan eksperimen. Saya ingin juga mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pengajian Sains Biologi kerana bantuan yang diberikan untuk menganalisis sampel-sampel melalui alat SEM dan EDX. Tidak dilupakan juga kepada pembantu makmal yang lain yang telah banyak membantu saya menyelesaikan masalah sepanjang kajian dijalankan.

Akhir sekali saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah menyokong serta membantu saya sama ada dari segi fizikal mahupun mental.

# **PEMBENTUKAN DAN PENCIRIAN KOBALT SILISIDA ATAS WAFER SILIKON (111) PADA SUHU SUBSTRAT DAN SEPUH LINDAP YANG BERBEZA-BEZA**

## **ABSTRAK:**

Silisida logam pada masa sekarang telah digunakan secara meluas dalam litar bersepadu berskala besar sebagai penghubung, sawar Schottky, sentuhan Ohmik dan get berkerintangan rendah. Pertumbuhan silisida kobalt ( $\text{CoSi}_2$ ) ke atas wafer silikon (111) telah dijalankan dengan menyejatkan kepingan logam kobalt tulen ke atas permukaan silikon menggunakan alat penyejatan vakum. Dua pendekatan yang berbeza telah dijalankan di sini untuk menghasilkan  $\text{CoSi}_2$ . Kaedah pertama ialah dengan menyejatkan logam kobalt ke atas permukaan wafer silikon pada suhu bilik dan kaedah kedua pula ialah dengan menyejatkan logam kobalt pada suhu substrat yang berbeza-beza. Dalam kaedah kedua ini suhu substrat dinaikkan dari julat  $100^\circ\text{C}$  ke  $300^\circ\text{C}$ . Kesemua sampel itu seterusnya disepuhlindap pada suhu sepuhlindap yang berbeza iaitu dari  $600^\circ\text{C}$  ke  $850^\circ\text{C}$  selama 30 minit dalam aliran gas argon. Ketebalan sampel yang telah disejat sebelum disepuhlindap diukur dengan menggunakan alat ukuran *Filmetrics*. Selain itu kesemua sampel diukur dengan menggunakan peralatan seperti penduga empat titik, mikroskop pengimbas elektron (SEM/EDX) dan alat belauan sinar-X (XRD). Daripada kajian yang telah dijalankan didapati pembentuk silisida kobalt yang paling sempurna berlaku pada suhu  $800^\circ\text{C}$  ketika suhu substrat berada pada  $300^\circ\text{C}$ . Keputusan ini menunjukkan penyejatan Co pada suhu tinggi akan menghasilkan hablur  $\text{CoSi}_2$  yang lebih kecil, licin dan sempurna. Selain itu, proses tersebut juga akan mengurangkan kandungan oksigen dalam sampel berbanding pada penyejatan atas substrat pada suhu bilik.

# **FORMATION AND CHARACTERIZATION OF COBALT SILICIDES ON SILICON WAFER (111) AT DIFFERENT SUBSTRATE AND ANNEALING TEMPERATURES.**

## **ABSTRACT:**

Metal silicides are extensively used in very large scale integrated circuit device processing as interconnects, Schottky barriers, ohmic contacts and low resistivity gates. Growth of cobalt silicides ( $\text{CoSi}_2$ ) on silicon (111) has been demonstrated by evaporating pure cobalt on silicon using vacuum evaporator. Two different approaches were carried out to produce  $\text{CoSi}_2$ ; Co evaporated on silicon at room temperature for the first approach and the second approach involved Co evaporated at substrate temperature ranging from  $100^\circ\text{C}$  to  $300^\circ\text{C}$ . All the samples were then annealed at different temperatures ranging from  $600^\circ\text{C}$  to  $850^\circ\text{C}$  for 30 minutes in argon. Thickness measurements before annealing were done on all the samples using *Filmetrics*. Apart from that, characterizations of the samples were also done using several equipments, which includes the standard four-point probe, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray analysis (EDX) and X-ray diffractions. From the research done, the best result came from annealing temperature of  $800^\circ\text{C}$  with substrate temperature of  $300^\circ\text{C}$ . This showed that Co evaporated at high substrate temperature forms smaller and smoother grains of  $\text{CoSi}_2$ . Also, the heating process reduced the oxygen level compared to those evaporated on substrate at room temperature.

**SENARAI SINGKATAN:**

|                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>SEM</b>                        | Scanning Electron Microscope          |
| <b>EDX</b>                        | Energy Dispersive X-Ray               |
| <b>XRD</b>                        | X-Ray Diffraction                     |
| <b>RCA</b>                        | Radio Corporation of America          |
| <b>SALICIDE</b>                   | Self-Aligned Silicide                 |
| <b>CVD</b>                        | Chemical Vapor Deposition             |
| <b>MBE</b>                        | Molecule Beam Epitaxy                 |
| <b>RTP</b>                        | Rapid Thermal Annealer                |
| <b>VLSI</b>                       | Very Large Scale Integration          |
| <b>ULSI</b>                       | Ultra Large Scale Integration         |
| <b>OME</b>                        | Oxide Mediated Epitaxy                |
| <b>RT</b>                         | Room Temperature                      |
| <b>HT1</b>                        | Heated Substrate Temperature at 100°C |
| <b>HT2</b>                        | Heated Substrate Temperature at 200°C |
| <b>HT3</b>                        | Heated Substrate Temperature at 300°C |
| <b>CZ</b>                         | Czochralski Crystal Growth            |
| <b>DI</b>                         | Deionized                             |
| <b>HCl</b>                        | Hydrochloric acid                     |
| <b>HF</b>                         | Hydrofluoric acid                     |
| <b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> | Hydrogen Peroxide                     |
| <b>NH<sub>4</sub>OH</b>           | Ammonium Hydroxide                    |
| <b>Si</b>                         | Silicon                               |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>            | Silicon Dioxide                       |
| <b>a.m.u</b>                      | atomic mass unit                      |

## **SENARAI RAJAH :**

|  | Mukasurat |
|--|-----------|
| Rajah 1.1: Pertumbuhan kobalt dan titanium di atas permukaan silikon   | 17        |
| Rajah 1.2 : Sistem penyejatan vakum  | 28        |
| Rajah 1.3 : Topeng untuk proses penyejatan aluminium ke atas kepingan silikon  | 29        |
| Rajah 1.4 : Pemandangan alat pemanas, topeng dan kepingan silikon dalam vakum  | 30        |
| Rajah 1.5: Pengukuran oleh penduga empat titik   | 35        |
| Rajah 1.6: Kadar penyesuaian suhu untuk alat sepuh lindap  | 41        |
| Rajah 1.7 : Rintangan keping lawan suhu sepuh lindap.  | 58        |
| Rajah 1.8 : Peratus berat elemen lawan suhu sepuh lindap bagi sampel RT  | 59        |
| Rajah 1.9 : Peratus berat elemen lawan suhu sepuh lindap bagi sampel HT1   | 60        |
| Rajah 1.10 : Peratus berat elemen lawan suhu sepuh lindap bagi sampel HT2  | 60        |
| Rajah 1.11 : Peratus berat elemen lawan suhu sepuh lindap bagi sampel HT3  | 61        |
| Rajah 1.12 : Gambar SEM menunjukkan pembesaran sampel sebanyak 5000 kali untuk sampel (a) tiada sepuh lindap, (b) 600°C, 30 minit, (c) 650°C, 30 minit, (d) 700°C, 30 minit, (e) 750°C, 30 minit, (f) 800°C, 30 minit dan (g) 850°C, 30 minit. Kesemua sampel di sepuh lindap dalam aliran gas argon (untuk set sampel di sejat pada suhu bilik, RT) | 63        |
| Rajah 1.13 : Gambar SEM menunjukkan pembesaran sampel sebanyak 5000 kali untuk sampel (a) tiada sepuh lindap, (b) 600°C, 30 minit, (c) 650°C, 30 minit, (d) 700°C, 30 minit, (e) 750°C, 30 minit, (f) 800°C, 30 minit dan (g) 850°C, 30 minit. Kesemua sampel di sepuh lindap dalam aliran gas argon.(untuk set sampel HT1)                          | 65        |
| Rajah 1.14 : Gambar SEM menunjukkan pembesaran sampel sebanyak 5000 kali untuk sampel (a) tiada sepuh lindap, (b) 600°C, 30 minit, (c) 650°C, 30 minit, (d) 700°C, 30 minit, (e) 750°C, 30 minit, (f) 800°C, 30 minit dan (g) 850°C, 30 minit. Kesemua sampel  |           |

di sepuh lindap dalam aliran gas argon (untuk set sampel di sejat pada suhu bilik, HT2). 67

Rajah 1.15 :Gambar SEM menunjukkan pembesaran sampel sebanyak 5000 kali untuk sampel (a) tiada sepuh lindap, (b) 600°C, 30 minit, (c) 650°C, 30 minit, (d) 700°C, 30 minit, (e) 750°C, 30 minit, (f) 800°C, 30 minit dan (g) 850°C, 30 minit. Kesemua sampel di sepuh lindap dalam aliran gas argon. (untuk set sampel HT3) 69

Rajah 1.16: Bilangan per saat lawan  $2\theta$  bagi substrat yang disejatkan pada suhu 100°C dan disepuh lindap pada suhu 750°C. 72

## **SENARAI JADUAL:**

|   | Mukasurat |
|---|-----------|
| Jadual 1.1: Perbezaan di antara unsur-unsur semikonduktor   | 2         |
| Jadual 1.2 : Ciri-ciri yang diperlukan oleh silisida untuk menghubungkan litar  | 5         |
| Jadual 1.3: Silisida –silisida yang berbeza-beza dipilih untuk aplikasi-aplikasi tertentu bagi peranti yang dihasilkan              | 7         |
| Jadual 1.4 : Ciri-ciri beberapa silisida-silisida yang diketahui  | 8         |
| Jadual 1.5 : Jadual perbandingan teknologi  | 11        |
| Jadual 1.6: Pengukuran jarak diantara penduga   | 38        |
| Jadual 1.7 : Suhu sepuh lindap yang digunakan untuk dua kaedah penyejatan yang berbeza.   | 43        |
| Jadual 1.8 : Jadual purata ketebalan lapisan filem nipis kobalt yang disejat  | 52        |
| Jadual 1.9: Bacaan rintangan keping untuk sampel RT (Substrat pada suhu bilik)  | 53        |
| Jadual 1.10 : Nilai rintangan keping untuk sampel HT1, HT2 dan HT3  | 57        |
| Jadual 1.11 : Kesimpulan data XRD bagi proses pertumbuhan silisida. Data diambil berdasarkan graf kiraan per saat lawan $2\theta$ . | 71        |



## **KANDUNGAN**

|   | Mukasurat |
|---|-----------|
| <b>TAJUK KAJIAN</b>   | i         |
| <b>PENGHARGAAN</b>  | ii        |
| <b>ABSTRAK</b>  | iii       |
| <b>ABSTRACT</b>   | iv        |
| <b>SENARAI SINGKATAN</b>  | v         |
| <b>SENARAI RAJAH</b>  | vi        |
| <b>SENARAI JADUAL</b>   | viii      |
| <br>  |           |
| <b>BAB 1 PENGENALAN</b>   | 1         |
| 1.1 Konsep asas   | 1         |
| 1.2 Jenis jenis bahan   | 5         |
| <br>  |           |
| <b>BAB 2 KAJIAN SEPINTAS LALU</b>   | 20        |
| <br>  |           |
| <b>BAB 3 ANALISIS PERALATAN</b>   | 25        |
| 3.1 Kaedah penyejatan kobalt ke atas sampel   | 25        |
| 3.2 Mikroskop Pengimbas Elektron, SEM (Scanning Electron Microscope) dan<br>EDX (Energy Dispersive X-Ray) | 31        |
| 3.3 Pembelau sinar-X, XRD (X-Ray Diffraction)   | 32        |
| 3.4 Penduga empat titik   | 34        |
| 3.5 Alat sepuh lindap   | 41        |
| <br>  |           |
| <b>BAB 4 KAEDAH DAN EKSPERIMEN</b>  | 44        |
| 4.1 Keterangan eksperimen   | 44        |
| 4.2 Alat-alat dan bahan bahan eksperimen  | 45        |

|   |    |
|---|----|
| 4.3 Kaedah penyediaan sampel                                      | 45 |
| 4.4 Kaedah pencucian RCA  | 45 |
| 4.5 Teknik pembersihan wafer                                      | 46 |
| 4.6 Teknik pengendapan kobalt pada wafer                          | 48 |
| 4.7 Proses penyejatan logam kobalt ke atas sampel                 | 48 |
| 4.8 Langkah-langkah penyejatan logam kobalt ke atas wafer silikon | 49 |
| <br>  |    |
| <b>BAB 5 KEPUTUSAN KAJIAN</b>                                     | 52 |
| <br>  |    |
| <b>BAB 6 KESIMPULAN</b>   | 74 |
| <br>  |    |
| <b>BAB 7 HASIL PENULISAN</b>                                      | 76 |
| <br>  |    |
| <b>BAB 8 RUJUKAN</b>  | 77 |

## **BAB 1 PENGENALAN:**

### **1.1 Konsep asas**

Dalam kajian yang dijalankan, wafer silikon digunakan sebagai substrat bagi pertumbuhan kobalt silisida ( $\text{CoSi}_2$ ). Akibat kelebihan-kelebihan tertentu, wafer silikon digunakan untuk kajian ini berbanding unsur-unsur lain yang terdapat di permukaan bumi. Unsur silikon yang digunakan adalah berdiameter 2 inci dan dari jenis-n yang berorientasi (111). Ini adalah kerana silikon berorientasi (111) mempunyai takat kebersihan yang tinggi berbanding silikon (100) (daripada hasil kajian En. Md. Radzi ketika proses pencucian dijalankan (Kajian mengenai bilik bersih dan proses pencucian RCA ke atas wafer silikon, Radzi Rahman, (1999)). Keadaan ini penting bagi memastikan pertumbuhan kobalt silisida yang sempurna. Keadaan atau kelebihan penggunaan silikon berorientasikan (111) akan diterangkan dengan lebih lanjut lagi dalam bahagian pencucian RCA (Radio Corporation of America).

Litar semikonduktor terhasil dari bahan-bahan yang berunsur semikonduktor. Bahan-bahan tersebut merujuk kepada keadaan di mana ia merupakan konduktor yang lemah sekiranya berada dalam keadaan tulen. Bahan semikonduktor boleh memainkan dua peranan iaitu ia boleh menjadi pembawa arus yang negatif (elektron), atau pembawa arus positif (lohong). Unsur semikonduktor yang biasanya digunakan sekarang adalah seperti germanium (Ge), silikon (Si), galium-arsenid (GaAs) dan galium-arsenid-fosfat (GaAsP). Pada zaman dahulu, sebelum munculnya unsur-unsur semikonduktor lain yang boleh dikomersilkan, germanium digunakan secara meluas. Malah sehingga ke hari ini lagi terdapat beberapa syarikat yang masih menggunakan germanium (Ge) sebagai unsur semikonduktor yang utama. Keadaan mula berubah dalam era teknologi fizik keadaan

pepejal setelah penemuan oksida asli di atas permukaan silikon. Kelebihannya berbanding unsur-unsur lain menyebabkan banyak syarikat berubah kepada penggunaan silikon. Silikon dengan oksidanya menawarkan beberapa kebolehan dari segi pemprosesan struktur peranti. Secara kasarnya silikon mempunyai takat lebur yang tinggi berbanding germanium. Ini menyebabkan pemprosesan dapat dilakukan kepada suhu yang lebih tinggi dan dapat mengurangkan masa untuk proses peresapan. Selain itu, silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dapat mengawal dan menghalang permukaan silikon itu sendiri dari sebarang kontaminasi serta meminimumkan kebocoran dalam litar.  $\text{SiO}_2$  juga menghalang kesemua jenis pendop silikon yang digunakan dan ini menyebabkan ketepatan dalam pembentukan litar melalui pemilihan dopan yang sesuai. Jadual 1.1 menunjukkan beberapa jenis unsur semikonduktor yang digunakan secara meluas pada masa sekarang (*Properties of metal silicides*, K. Maex (1995)).

Jadual 1.1:Perbezaan di antara unsur-unsur semikonduktor

| Elemen                             | Ge                    | Si                    | GaAs                  | SiC                  |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Berat Atom (a.m.u)                 | 72.6                  | 28.09                 | 144.63                | 60.08                |
| Atom/cm <sup>3</sup> atau molekul  | $4.42 \times 10^{22}$ | $5.00 \times 10^{22}$ | $2.21 \times 10^{22}$ | $2.3 \times 10^{22}$ |
| Atom/unit sel                      | 8                     | 8                     | 8                     | -                    |
| Ketumpatan (atom/cm <sup>3</sup> ) | 5.32                  | 2.33                  | 5.65                  | 2.27                 |
| Jurang tenaga (eV)                 | 0.67                  | 1.11                  | 1.40                  | 8.00                 |
| Konstan dielektrik                 | 16.3                  | 11.7                  | 12.0                  | 3.9                  |
| Struktur kristal                   | Berlian               | Berlian               | Campuran Zink         | Amorfus              |
| Takat lebur (°C)                   | 937                   | 1415                  | 1238                  | 1700                 |

Peranti semikonduktor memerlukan beberapa lapisan dan filem nipis yang mempunyai pelbagai fungsi yang berbeza. Lapisan-lapisan ini boleh terdiri daripada lapisan penebat, semikonduktor atau konduktor yang dicorakkan di atas wafer melalui pelbagai teknik. Sejak 10 tahun kebelakangan ini, jumlah dan kegunaan lapisan nipis logam di atas wafer sebagai sentuhan telah bertambah dengan drastik mengikut kepentingannya. Kajian yang telah dijalankan di sini walau bagaimanapun hanya tertumpu kepada pembentukan kobalt silisida melalui proses yang dikenali sebagai proses pelogaman. Namun sebelum mengetahui dengan lebih mendalam lagi berkaitan pertumbuhan logam kobalt silisida, adalah penting untuk kita mengetahui asas proses pelogaman serta kepentingannya. Proses pelogaman merupakan peringkat terakhir yang penting kerana ia berfungsi sebagai alat pendawaian di atas permukaan wafer. Logam yang berunsur konduktor juga mempunyai beberapa fungsi lain selain pendawaian dalam peranti yang direka iaitu sebagai fius dan menjadi sentuhan elektrik di bahagian belakang 'die' yang telah siap untuk dipasarkan.

Lapisan nipis logam diperlukan dalam bidang semikonduktor untuk menghubungkan pelbagai komponen-komponen yang terdapat di atas permukaan wafer. Proses ini terhasil dengan menyejatkan lapisan nipis (10 hingga 15 Å) logam ke atas permukaan wafer. Lapisan nipis logam tersebut, setelah dibentuk dan dicorakkan melalui proses fotolitografi, akan menghubungkan komponen-komponen yang ada mengikut fungsi peranti tersebut. Garisan-garisan nipis logam yang disejatkan di atas permukaan wafer dikenali sebagai penghubung.

Antara logam-logam yang biasa digunakan untuk proses pelogaman adalah aluminium (Al), titanium (Ti), polisilikon yang didop, silisida logam refraktori dan emas.

Sebelum munculnya penggunaan logam silisida yang lain secara komersil, logam aluminium telah digunakan untuk penghasilan peranti. Aluminium digunakan sebagai logam pendawaian secara meluas suatu ketika dahulu dan masih lagi digunakan sehingga kini kerana ia mempunyai ketumpatan pembawa arus elektrik yang baik, melekat dengan baik terhadap  $\text{SiO}_2$ , senang untuk dibentuk, mempunyai ketulenen yang tinggi dan mempunyai sentuhan elektrik yang baik dengan silikon. Walau bagaimanapun para penyelidik kini telah berubah angin untuk menggunakan logam-logam lain untuk menggantikan logam Al akibat dari dua kelemahannya yang ketara. Tidak dinafikan juga logam-logam seperti kobalt, nikel dan titanium juga mempunyai kelebihan yang tersendiri.

Elektromigrasi merupakan salah satu kelemahan aluminium yang ketara (*Properties of metal silicides*, K. Maex (1995)). Fenomena ini berlaku dalam simpang. Namun keadaan tersebut tidak akan terjadi semasa pemprosesan dan pengujian peranti berkenaan. Hanya setelah peranti itu berfungsi selama beberapa ketika, barulah keadaan atau fenomena elektromigrasi itu berlaku. Elektromigrasi berlaku akibat peresapan logam Al disebabkan daya elektrik yang terhasil di jalur atau simpang ketika peranti sedang beroperasi. Keadaan tersebut akan menyebabkan jalur menjadi panas dan akhirnya terputus menyebabkan kawasan terbuka di dalam litar. Masalah utama elektromigrasi adalah keadaan ini hanya akan berlaku setelah berjam-jam sesuatu peranti itu berfungsi dan bukannya serta-merta.

Kelemahan lain logam tradisional Al adalah ketika proses pelogaman dilakukan. Logam perlu dipanaskan untuk mendapat sentuhan ohmik yang baik. Namun terdapat had tertentu yang perlu diambilkira untuk proses tersebut. Pada suhu  $577^\circ\text{C}$ , suatu

fenomena ganjil akan berlaku di antara aluminium dan wafer silikon yang digunakan. Kedua-dua unsur tersebut sebenarnya mempunyai takat lebur yang berbeza-beza dan tidak akan lebur pada suhu  $577^{\circ}\text{C}$ . Namun apabila bergabung, kedua-duanya akan lebur. Dalam istilah fizik fenomena ini dikenali sebagai takat eutatik. Ini berlaku kerana pada permukaan sampel, cecair aloi akan meresap masuk ke dalam wafer. Keadaan ini akan menimbulkan masalah sekiranya simpang yang cetek digunakan kerana ia akan mengakibatkan litar pintas berlaku.

## 1.2 Jenis-jenis bahan

Terdapat beberapa jenis logam yang sesuai untuk penghasilan silisida dalam litar. Jadual 1.2 di bawah menunjukkan ciri-ciri yang diperlukan untuk silisida bagi memenuhi kriteria dalam menghubungkan litar.

Jadual 1.2 : Ciri-Ciri Yang Diperlukan Oleh Silisida Untuk Menghubungkan Litar

| <b>Ciri-ciri silisida</b>   |
|---|
| Rintangan keping yang rendah  |
| Rintangan sentuhan yang rendah  |
| Senang dibentuk, tahap pemprosesan tinggi   |
| Tidak merosakkan wafer silikon.   |
| Tiada tindak balas dengan $\text{SiO}_2$ atau pertumbuhan secara lateral              |
| Senang untuk direka atau dipunar  |
| Stabil dalam gas oksigen; daya lekatan yang baik; tekanan yang rendah                 |
| Permukaan atas yang licin   |
| Stabil dalam keseluruhan proses pemanasan pada suhu yang tinggi                       |
| Tidak akan mengotorkan peranti, wafer atau peralatan pemprosesan                      |
| Tindak balas yang minima dengan aluminium atau pelogaman yang lain                    |
| Mempunyai kitar hidup yang panjang dan ciri-ciri yang baik untuk menghasilkan peranti |
| Pemendapan ke dalam wafer silikon agak minimum.                                       |

Silisida–silisida yang berbeza dipilih untuk aplikasi tertentu bagi peranti yang dihasilkan. Ini dapat dilihat dalam jadual 1.3. Silisida-silisida ini dipilih kerana setiap silisida mempunyai kelebihan yang tersendiri. Antaranya ialah silisida mempunyai rintangan keping yang rendah, kestabilan terma yang mencukupi untuk melalui pelbagai proses pembentukan litar, dan dapat menahan tekanan. Sementara itu jadual 1.3 pula menunjukkan ciri-ciri beberapa silisida yang diketahui (*Properties of metal silicides*, K. Maex (1995)).

Secara amnya, silisida dapat dibahagikan kepada dua kumpulan: iaitu kumpulan silisida logam refraktori yang terdiri dari logam kumpulan IV-A, V-A dan VI-A (Ti, Mo, W, Ta, Zr, V...) dan kumpulan logam silisida (noble) yang terdiri dari logam kumpulan VIII (Pt, Pd, Co, Ni,..). Walaupun silisida logam refraktori mempunyai kelebihan dari segi kestabilan termalnya berbanding logam-logam silisida (noble) dan mudah dioksidakan, namun logam-logam tersebut tidak mudah untuk bertindak balas dengan silikon. Disebabkan faktor tersebut, logam-logam silisida refraktori hanya boleh dibentuk melalui proses prapemendapan.

Silisida logam refraktori adalah pilihan utama untuk aplikasi Polisilisida. Manakala silisida logam (noble) bersama titanium silisida ( $\text{TiSi}_2$ ) amat mudah dan sedia untuk bertindak balas dengan silikon. Malah logam-logam tersebut mempunyai konduktiviti yang tinggi. Oleh sebab demikianlah silisida logam (noble) bersama-sama  $\text{TiSi}_2$  amat sesuai untuk digunakan dalam aplikasi SALICIDE (*Self-Aligned Silicide*) walaupun kestabilan terma logam-logam tersebut adalah rendah berbanding silisida logam refraktori.



Jadual 1.3: Silisida –silisida yang berbeza-beza dipilih untuk aplikasi-aplikasi tertentu bagi peranti yang dihasilkan

| <b>Bahan</b>          | <b>Aplikasi</b>                            | <b>Keadah Pertumbuhan</b>         |
|-----------------------|--|-----------------------------------|
| PtSi                  | Pembahagi Schottky                         | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Lekatan get dan simpang                    | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindak balas terma terhadap logam |
| Pd <sub>2</sub> Si    | Pembahagi peresapan                        | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Sentuhan pengeluar bipolar                 | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindak balas terma terhadap logam |
| WSi <sub>2</sub>      | Lekatan get                                |                                   |
|                       | Lekatan get dan simpang (sumber peresapan) | Tindakbalas alur-ion              |
|                       | Lekatan get dan simpang                    | Kaedah CVD tertentu               |
| TaSi <sub>2</sub>     | Lekatan get                                | Proses prapemendapan              |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindakbalas alur-ion              |
| MoSi <sub>2</sub>     | Lekatan get                                | Proses prapemendapan              |
|                       | Lekatan get dan simpang (sumber peresapan) | Tindakbalas alur-ion              |
| TiSi <sub>2</sub>     | Lekatan get                                | Proses prapemendapan              |
|                       | Lekatan get dan simpang                    | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Lekatan get dan simpang                    | Tindakbalas alur-ion              |
|                       | Proses salinhubung litar                   | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindak balas terma terhadap logam |
| CoSi <sub>2</sub>     | Lekatan get dan simpang                    | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Lekatan get dan simpang                    | Tindakbalas alur-ion              |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindak balas terma terhadap logam |
| NiSi                  | Lekatan get dan simpang                    | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Sumber peresapan                           | Tindak balas terma terhadap logam |
| TiN/TiSi <sub>2</sub> | Pembahagi peresapan                        | Tindak balas terma terhadap logam |
|                       | Proses salinhubung litar                   | Tindak balas terma terhadap logam |

Jadual 1.4 : Ciri-ciri beberapa silisida-silisida yang diketahui

| Silisida           | Rintangan<br>( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ) | Jurang tenaga<br>$\Phi_b$ (eV) | Suhu<br>$T^*_{\text{stability}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Tekanan<br>( $10^9 \text{ dyn/cm}^2$ ) |
|--------------------|--|--------------------------------|---|--|
| PtSi               | 28-35  | 0.87                           | ~800  | 5                                      |
| Pd <sub>2</sub> Si | 30-35  | 0.74                           | ~700  | 5                                      |
| WSi <sub>2</sub>   | ~30  | 0.65                           | >1000   | -                                      |
| TaSi <sub>2</sub>  | 35-55  | 0.559                          | >1000   | 18                                     |
| MoSi <sub>2</sub>  | ~40  | 0.55                           | >1000   | 10                                     |
| TiSi <sub>2</sub>  | 13-16  | 0.6                            | ~900  | 15-25                                  |
| CoSi <sub>2</sub>  | 18-20  | 0.64                           | ~1000   | 8-10                                   |
| ZrSi <sub>2</sub>  | 35-40  | 0.55                           | -   | -                                      |
| NiSi               | 12-15  | 0.7                            | ~700  | ~1                                     |
| TiN                | 40   | 0.49                           | -   | -                                      |

Proses pembentukan silisida juga dapat dilihat dalam jadual 1.3. Ini termasuklah (1) proses prapemendapan dari dua sumber yang berbeza atau dari aloi yang dipanaskan diikuti dengan proses sintering, (2) tindakbalas terma di antara logam dengan silikon (proses penyejatan), (3) kaedah pancaran alur-ion, (4) proses mesotaksi, (5) kaedah pemendapan gas kimia (CVD) dan (6) epitaksi alur molekul (MBE). Dua kaedah pertama yang disebutkan di atas merupakan kaedah yang paling kerap digunakan dalam proses pelogaman. Ini kerana kaedah prapemendapan sesuai untuk polisida manakala kaedah kedua pula sesuai digunakan untuk teknologi 'SALICIDE'. Selain itu, untuk empat proses pertama yang disebutkan di atas tadi, proses sepuhlindap merupakan salah satu proses yang mesti dilakukan bagi penghasilan silisida yang lengkap. Kaedah sepuh

lindap merupakan proses pemanasan sampel kajian pada suhu yang tinggi mengikut masa yang sesuai di dalam aliran gas yang tertentu. Gas-gas yang biasanya digunakan dalam proses sepuhlindap adalah seperti gas nitrogen dan argon. Kaedah sepuh lindap boleh dilakukan melalui dua kaedah utama iaitu sama ada dengan menggunakan relau pemanas biasa atau dengan menggunakan relau terma pantas (RTP).

Tindakbalas untuk logam jenis refraktori (W, Ta, Mo, dsbnya.) dengan silikon biasanya memerlukan suhu yang tinggi dan oksida mudah terhasil di atas silikon tersebut. Oleh sebab itulah untuk logam jenis refraktori, kaedah prapemendapan menggunakan pancaran alur-ion, percikan dan CVD dilakukan. Filem nipis yang terhasil daripada proses prapemendapan adalah tidak stoikometrik. Tindakbalas di antara kedua-dua bahan itu juga tidak sekata pada permulaannya. Seterusnya untuk kaedah prapemendapan, proses sepuhlindap dilakukan. Namun, ia dilakukan bertujuan untuk membiarkan proses peresapan berlaku terhadap logam ke atas substrat silikon agar kesekataan berlaku. Selain itu, proses tersebut juga diperlukan untuk mengkristalkan filem nipis mengikut silisida yang kita ingini. Akhir sekali proses sepuhlindap yang dilakukan selepas proses prapemendapan bertujuan untuk membenarkan proses peresapan yang berkadar agar filem satu-fasa yang stoikometrik berada di atas permukaan substrat. Lazimnya filem nipis yang melalui proses prapemendapan adalah amorfus apabila dimendapkan dan mempunyai rintangan keping yang tinggi berbanding filem yang telah disepuhlindap.

Kaedah tindakbalas terma di antara logam dengan silikon adalah proses tindakbalas secara terus logam dengan silikon hablur tunggal, polikristal dan amorfus. Dalam kes ini, logam akan disejat atau diserakkan melalui proses percikan ke atas silikon

dan tindakbalas yang terhasil akan disepuh lindap untuk menghasilkan silisida. Untuk struktur yang direka dan dibentuk, hanya logam yang bersentuhan dengan silikon sahaja akan bertindakbalas apabila melalui proses sepuh lindap.

Untuk proses penghasilan logam silisida, kaedah sepuh lindap memainkan peranan yang penting bagi pertumbuhan silisida tersebut. Kaedah penggunaan relau merupakan kaedah lama bagi memanaskan substrat atau wafer yang telah dilapisi dengan logam dari proses penyejatan yang dijalankan sebelum itu. Namun akibat pertumbuhan era elektronik yang semakin pesat dan mempunyai permintaan yang tinggi, kaedah penggunaan RTP telah mengambilalih fungsi relau bagi penghasilan logam silisida. Penghasilan silisida melalui proses pemanasan relau biasa memerlukan pemerhatian yang lebih berbanding RTP kerana oksigen mudah masuk dan mengganggu pertumbuhan silisida yang dikehendaki. Namun kaedah pemanasan relau biasa tidak semestinya tidak berguna. Untuk mengurangkan kos, relau biasa digunakan kerana RTP merupakan alat yang mahal dan memerlukan penjagaan yang rapi. Untuk bidang kajian, penggunaan relau biasa adalah mencukupi sekiranya beberapa faktor seperti kebersihan, kepantasan keseluruhan proses, kaedah yang digunakan dan sebagainya diambilkira. Tetapi sekiranya peranti-peranti adalah untuk dikomersilkan mengikut permintaan pada masa sekarang, RTP adalah lebih sesuai kerana ia menjimatkan masa dan penghasilan silisida adalah lebih sempurna. Di bawah ini adalah perbandingan secara kasar di antara relau biasa dan RTP untuk proses pertumbuhan silisida kobalt.

Jadual 1.5: Jadual Perbandingan Teknologi

| <b>Relau Biasa</b>            | <b>RTP</b>                    |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Banyak wafer                  | Satu Wafer                    |
| Dinding Panas                 | Dinding Sejuk                 |
| Masa yang panjang             | Masa yang pendek              |
| Masa kitaran yang lama        | Masa kitaran yang singkat     |
| Nilai perbezaan $dT/dt$ kecil | Nilai perbezaan $dT/dt$ besar |

Logam secara asasnya boleh didefinisikan sebagai bahan pepejal yang mampu mengalirkan arus elektrik serta haba yang tinggi . Dalam kajian mikroelektronik, logam digunakan untuk tujuan menghasilkan gerakan tenaga elektrik dan memancarkan informasi. Namun kedua-dua ‘pekerjaan’ logam tersebut sebenarnya dilakukan oleh elektron-elektron yang melalui garis-garis yang ada pada logam tersebut dari satu tempat ke satu tempat yang lain. Aplikasi logam-logam mahupun lapisan hampir logam dikenali sebagai proses pelogaman. Proses pelogaman merupakan komponen penting dalam litar elektronik kerana ia mengawal sifat-sifat peranti, membekalkan kuasa dan membekalkan ‘jalan’ untuk peranti berhubung dengan bahagian-bahagian lain mahupun di antara peranti-peranti itu sendiri. Pelogaman di dalam litar mestilah boleh mengawal sifat-sifat peranti, seperti kawalan had Schottky, rintangan sentuhan, ciri-ciri semikonduktor oksida-logam, ‘back-contact’ dan lain-lain faktor yang secara tidak langsung boleh mengawal peranti-peranti tersebut. Faktor-faktor tersebut termasuklah menjadikan bahan yang dimendapkan itu sebagai penampan atau pelindung, *field plate* dan juga bertujuan membekalkan ruang dalam memori. Bukan itu sahaja, proses pelogaman juga

membekalkan kestabilan yang tinggi dan melindungi peranti dari persekitaran. Sebagai contoh, bahan logam yang dimendapkan boleh berfungsi sebagai sawar resapan dan lapisan penghalang hakisan dalam litar.

Pada masa kini, perkembangan kaedah-kaedah pelogaman merupakan faktor yang penting dalam mengurangkan saiz-saiz peranti dan litar. Selain itu, penemuan kaedah terbaru juga telah memberi kejayaan yang memberangsangkan dalam kaedah pelogaman bagi teknologi mikroelektronik di masa hadapan. Namun, beberapa isu penting perlu dipertimbangkan secara serius. Antara isu-isu yang perlu di ambil perhatian adalah fenomena elektromigrasi, tekanan, kegagalan logam untuk melekat di atas permukaan substrat, hakisan dan fenomena *interdiffusion*. Bukan itu sahaja, faktor seperti kerosakan akibat proses pembikinannya seperti kawalan ketebalan lapisan nipis yang lemah, kerosakan pada jumlah isipadu lapisan, penipisan logam akibat punaran atau kontaminasi merupakan faktor-faktor yang perlu juga di ambil kira dalam menghasilkan lapisan logam yang diinginkan. Secara kasarnya, kesemua faktor-faktor yang disebutkan diatas tadi perlu dikurangkan atau lebih baik sekiranya dihapuskan secara langsung.

Salah satu kelebihan sentuhan silikon-silisida adalah proses fabrikasinya akan menghasilkan struktur permukaan yang bersih, tidak berlaku sebarang perubahan dalam ciri-ciri sentuhan yang pada kebiasaannya akan berlaku akibat lapisan oksida, dan dalam kes-kes tertentu kawasan sentuhan akan menjadi lebih sempurna dan terperinci. Walau bagaimanapun, setiap silisida mempunyai hadnya yang perlu dipatuhi untuk penghasilan struktur yang baik. Bendasing seperti karbon dan oksigen boleh memainkan pelbagai peranan yang berbeza terhadap pelbagai silisida yang wujud. Silisida seperti Ti dan tantalum (Ta) boleh menerima kandungan oksigen yang sedikit tanpa memberi kesan

terhadap kestabilan mekanikal logam-logam tersebut. Namun, silisida-silisida lain akan memberi kesan yang berbeza terhadap kehadiran unsur karbon dan oksigen. Silisida tungsten dan molybdenum memerlukan perhatian penuh terutamanya ketika proses pengoksidaan. Ini adalah kerana logam-logam tersebut tidak dapat mengurangkan lapisan antarafasa oksida di atas polisilikon. Kestabilan silisida-silisida refraktori (silisida logam keras) dapat dipertingkatkan sekiranya silisida-silisida tersebut digunakan bersama silikon. Ini adalah kerana lebih silikon akan menyebabkan ikatan terhadap kekisi menjadi lebih tersusun dan ini akan memperbaiki keupayaannya untuk oksidasi. Silisida seperti titanium dan kobalt merupakan dua unsur yang paling digemari pada masa kini kerana keupayaannya yang menarik. Ia sesuai digunakan kerana sifatnya yang boleh menyusun atom-atomnya secara tersendiri (self-aligned) dan mempunyai kerintangan yang rendah. Namun, kedua-dua silisida tersebut juga bertindak dengan oksigen dan mempunyai kestabilan pada suhu yang agak rendah ( $< 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Mikael Hult, Leif Persson, J. Applied Phys. 77 (6) 1995).

Secara amnya, rintangan sentuhan bagi silisida hendaklah rendah. Namun secara amnya keadaan tersebut dapat dikawal iaitu dengan mengurangkan bahan pendopan semikonduktor ke atas lapisan antarafasa logam-semikonduktor tersebut. Perlu diketahui dengan adanya lapisan antarafasa yang tidak diingini, rintangan sentuhan akan terganggu. Jika semasa pembentukan sentuhan pelogaman kepekatan dopan dalam bahan semikonduktor tersebut dikurangkan, rintangan sentuhan akan bertukar secara mendadak. Bukan itu sahaja, ciri-ciri pemendapan yang diingini dalam simpang juga akan bertukar. Untuk menghapuskan atau meminimalkan kesan lapisan antarafasa, pencucian sebelum penyejatan secara *in situ* atau sepuhlindap pada suhu tinggi perlu dilakukan (*Effect of two*

*steps annealing on epitaxial growth of CoSi<sub>2</sub> on silicon* , L.J. Cheng & T.T. Chang).

Akhir sekali kita perlu tahu bahawa kestabilan sentuhan semasa sepuhlindap pada suhu tinggi dan ketika litar sedang beroperasi pada arus tinggi amatlah penting. Ini kerana masalah elektromigrasi biasanya akan berlaku dan perlu di tangani dengan cara yang bersesuaian. Oleh yang demikian, untuk era VLSI dan ULSI, sentuhan aluminum yang selama ini digunakan dalam peranti haruslah ditukar dengan silisida bertakat lebur tinggi, logam-logam refraktori (logam keras) atau nitrid, karbid dan borid kerana mempunyai kerintangangan yang rendah dan takat suhu yang tinggi.

Kita perlulah menimbang aplikasi-aplikasi pelogaman yang ada berdasarkan kestabilan bahan tersebut pada suhu tinggi terhadap bahan semikonduktor mahupun bahan dielektrik. Pada suhu yang tinggi, bahan yang digunakan untuk pelogaman sama ada akan bertindakbalas dengan silikon tanpa sebarang masalah atau akan kehilangan ciri-ciri serta sifat-sifatnya akibat proses degradasi (decompose), proses kekelompokan (agglomerate) atau kegagalan mekanikal. Pd<sub>2</sub>Si akan menjadi butiran berkelompok pada suhu melebihi 700°C, filem tungsten akan bertindakbalas dengan silikon pada suhu lebih kurang 600°C, dan kesemua nitrid akan bertindakbalas dengan silikon pada suhu melebihi 500°C (proses tersebut akan mengakibatkan kemerosotan terhadap ikatan logam-nitrogen). Perak pula tidak boleh digunakan secara terus ke atas substrat silikon. Ini kerana perak mempunyai kebolehan pemendapan yang amat tinggi dan akan menghasilkan jurang yang dalam pada silikon. Hanya aluminum dan TiN stabil untuk bertindakbalas dengan SiO<sub>2</sub> kerana kedua-dua bahan tersebut akan mengurangkan isipadu SiO<sub>2</sub> untuk menghasilkan ikatan antaramuka logam-oksida yang akan menambahkan pelekatan dan kestabilan kepada sentuhan tersebut. Namun aluminum dan TiN tidak



stabil pada suhu tinggi dan di dalam ruang udara beroksida.  $WSi_2$ ,  $MoSi_2$ ,  $TiSi_2$ ,  $CoSi_2$  dan  $PtSi_2$  melekat dengan baik terhadap permukaan  $SiO_2$  tetapi kesemua bahan tersebut tidak stabil apabila didedah kepada bahan beroksida.

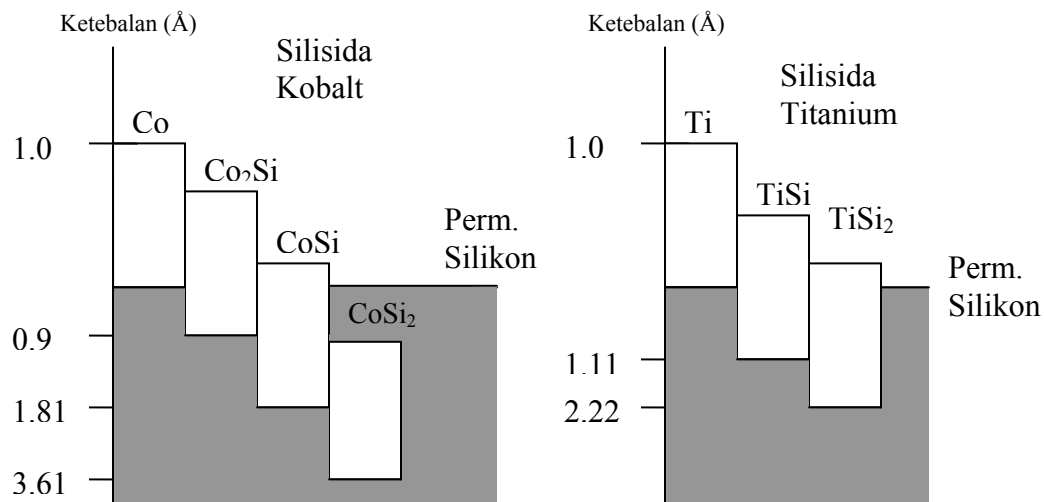
Dalam kesemua silisida yang ada,  $CoSi_2$  dan  $NiSi$  mempunyai kelebihan yang ketara berbanding silisida-silisida yang lain. Ini adalah kerana kedua-dua silisida tersebut mempunyai kerintangan yang paling rendah ( $\sim 15\mu\Omega.cm$ ), kestabilan terma yang amat baik (sehingga  $700^\circ C-900^\circ C$ ), bertindakbalas pada suhu yang rendah ( $\sim 400^\circ C-600^\circ C$ ), dan kemerosotan kerintangan pada garis-garis/get yang agak minimum. (Jae Yeob Shim, Sang Wook Park (1997)).

Selain itu,  $CoSi_2$  mempunyai pertumbuhan silisida yang mendadak pada sumber parit yang amat minima, mempunyai rintangan yang baik terhadap hakisan asid hidroflorik (HF) dan punaran plasma serta tidak akan bertindak dengan oksida pada suhu dibawah  $900^\circ C$ .  $CoSi_2$  juga menawarkan rintangan paling rendah untuk digunakan dalam teknologi SALISIDA (silisida yang tumbuh dengan sendiri). Ini kerana  $CoSi_2$  paling kurang dipengaruhi oleh keadaan pemprosesan dibawah suhu  $900^\circ C$ . Bukan itu sahaja, silisida  $CoSi_2$  adalah lebih stabil secara termodinamik berbanding silisida tumbuh dengan sendiri yang lain (contohnya  $TiSi_2$ ).  $TiSi_2$  juga menawarkan kerintangan yang sama dengan  $CoSi_2$  serta penggunaannya dalam teknologi SALISIDA. Namun, titanium merupakan bahan yang reaktif dan pemprosesan bahan tersebut mempunyai beberapa isu-isu yang perlu dipenuhi. Berbalik kepada logam kobalt, apabila menjadi silisida, tiga perkara utama perlu diambil perhatian:

- (1) Kobalt akan 'menelan'  $3.6\text{ \AA}$  silikon per  $\text{\AA}$  untuk membentuk  $3.5\text{ \AA}$  silisida. Ini berbeza dengan  $TiSi_2$  yang mana tindakbalasnya akan 'menelan'  $2.3\text{ \AA}$  silikon per

Å untuk membentuk 2.5 Å silisida. Ini boleh dikatakan sebagai satu kelebihan kepada  $\text{CoSi}_2$  kerana kedua-dua  $\text{CoSi}_2$  dan  $\text{TiSi}_2$  mempunyai kerintangan lapisan filem nipis yang sama. Perubahan isipadu semasa pembentukan silisida juga diterangkan oleh M. Östling dan C. Zang (1999) dalam penulisannya. Mengikut mereka, apabila 100nm kobalt atau titanium bertindakbalas dengan silikon untuk membentuk silisida yang berbeza fasa,  $\text{CoSi}_2$  dan  $\text{TiSi}_2$  akan menghasilkan jumlah isipadu yang berkurangan dari yang sepatutnya. Permukaan kobalt disilisida akan termendap 12nm dibawah permukaan silikon, manakala, permukaan titanium disilisida akan berada 10nm diatas permukaan silikon.

- (2) Logam kobalt merupakan bahan magnetik. Walaupun ia agak sukar untuk digunakan melalui keadah percikan, namun disebabkan kajian yang telah lama dijalankan terhadap logam tersebut menyebabkan lapisan filem yang berbeza ketebalan dapat dihasilkan tanpa sebarang masalah.
- (3) Logam kobalt adalah terhad kerana ia hanya boleh didapati di beberapa negara sahaja di dunia ini.



Rajah 1.1 : Pertumbuhan Kobalt dan Titanium di atas permukaan Silikon

Maex et. al. (1985) dalam penulisannya telah mengkaji silisida-silisida yang terdapat sebagai sentuhan dalam simpang cetek untuk kegunaan bahan-bahan dalam era ULSI. Disilisida seperti kobalt, molybdenum, tantalum dan titanium dihasilkan diatas simpang cetek, yang mana ia boleh dihasilkan melalui dua kaedah. Kaedah pertama ialah dengan kaedah biasa, iaitu dengan pembentukan lapisan nipis kobalt diatas lapisan silikon dan disepuhlindap untuk menghasilkan silisida. Cara kedua pula ialah dengan membentuk secara terus silisida iaitu dengan memasukkan silisida melalui kaedah penanaman (out-diffusion). Mereka membuat kesimpulan, daripada kajian yang dijalankan terhadap kesemua silisida, hanya CoSi<sub>2</sub> tidak mengalami sebarang perubahan dan pembentukan ini termasuklah pembentukan daripada kaedah menggunakan dopan. Bagi kes 'out-diffusion' iaitu dari CoSi<sub>2</sub> yang 'ditanam' pula, rawatan suhu yang dihadkan pada tahap tertentu telah menghasilkan ketumpatan arus yang baik untuk kegunaan diod-diod. Ini jelas menunjukkan proses penghasilan CoSi<sub>2</sub> adalah proses yang

lumayan dan menarik. Namun, ia memerlukan keupayaan syarikat pengeluar untuk mengeluarkan bahan tersebut untuk kegunaan peranti dan bahan dalam dimensi saiz litar separuh sub-mikron.

Kebolehan untuk membawa arus termasuklah kerintangan logam dan jumlah rintangan dalam garis-garis logam merupakan faktor-faktor yang amat penting dan perlu dipertimbangkan. Dalam kes-kes tertentu, sepuhlindap pada suhu yang tinggi akan mengurangkan 'kemosotan' kepada kepekatan yang secara langsung boleh menyumbang terhadap perubahan struktur dan rintangan dalam bahan tersebut.

Perubahan rintangan yang berlaku kebanyakan dapat dilihat melalui kaedah percikan, di mana hampir sejumlah besar kerosakan berlaku. Pada suhu yang tinggi, didapati peningkatan rintangan berlaku seperti yang diharapkan. Dalam kes ini, apabila disepuhlindap, kerosakan dalam bahan dapat dikurangkan atau dihapuskan sama sekali. Filem-filem nipis tersebut menunjukkan peningkatan apabila suhu dinaikkan dari suhu bilik ke takat-takat yang tertentu. Kesan suhu semasa proses pemendapan silisida amatlah penting. Suhu substrat (sama ada panas atau sejuk semasa pemendapan) dan persekitaran bukan sahaja memberi kesan terhadap proses pemendapan tersebut, tetapi juga memberi kesan-kesan terhadap: (1) kestabilan fizikal dan mekanikal terhadap bahan serta kestabilan mekanikal terhadap substrat, (2) keaktifan bahan yang dimendap terhadap substrat serta kontaminasi persekitarannya, (3) pemendapan bahan dari substrat dan persekitarannya semasa proses pemendapan dilakukan, (4) rintangan elektrik, (5) morfologi dan planaritinya, dan (6) tekanan. Kelebihan pemendapan pada suhu tinggi adalah (1) saiz biji yang lebih besar, (2) ketumpatan bahan pemendap akan meningkat, (3) rintangan pada suhu bilik lebih rendah, ini disebabkan oleh berkurangnya kerosakan

berkaitan dengan kepekatan bahan dan saiz biji yang lebih besar, (4) ikatan yang lebih baik dengan antaramuka, terutamanya apabila suhu substrat yang ditingkatkan itu menghasilkan tindakan di antara bahan yang dimendap dengan substrat, (5) pergerakan atom-atom dan molekul meningkat ketika pemendapan, menyebabkan ruang liputan yang lebih besar, (6) mengurangkan lapisan yang tidak sekata diatas permukaan, dan (7) tindakbalas akan menghasilkan bahan sampingan (co-deposit) seperti silisida.

Namun beberapa kesan perlu diambil perhatian ketika ingin memendapkan bahan pada suhu tinggi. Antaranya: (1) tindakbalas dengan persekitaran akan menyebabkan kontaminasi pada pemendap, (2) tindakbalas dengan substrat boleh menghasilkan bahan yang ciri-cirinya tidak diingini, (3) tekanan haba boleh terhasil terhadap bahan tersebut, (4) tindakbalas yang tidak diingini boleh berlaku dalam bentuk gas, terutamanya melalui kaedah CVD, (5) peralatan yang digunakan mungkin akan rosak atau nilai hayatnya akan berkurang, (6) peranti yang telah difabrikasi mungkin akan diganggu sifat-sifatnya, (7) banyak bahan yang cair pada suhu rendah tidak boleh digunakan, dan (8) kekasaran mikro pada permukaan mungkin akan meningkat.

## **BAB 2 KAJIAN SEPINTAS LALU:**

Sebelum kita mendalami kajian yang dijalankan ini, adalah baik sekiranya kita dapat mengetahui sedikit sebanyak tentang kajian lain yang pernah dijalankan yang melibatkan logam kobalt. Kajian yang dijalankan di serata dunia menunjukkan logam kobalt merupakan logam yang paling sesuai untuk pertumbuhan silisida. Dalam bahagian ini kita boleh lihat beberapa hasil penulisan yang pernah diterbitkan. Antaranya adalah dari C. Detavernier et. al (1999) yang mengkaji formasi  $\text{CoSi}_2$  semasa kehadiran oksida silikon pada kawasan silisida/silikon. Di dapati, penutup Ti reaktif yang digunakan dapat menggalakkan pertumbuhan silisida. Ini kerana pencemaran oksigen (dari proses sepuh lindap) akan dikumpulkan oleh lapisan penutup tersebut. Untuk sampel yang tidak ditutup dengan lapisan nipis Ti, oksigen yang dihasilkan dari proses sepuh lindap akan mencemarkan lapisan kobalt, dan ini akan mengurangkan serta menghadkan kebolehan keterlarutan  $\text{SiO}_x$  dalam lapisan Co. Pertumbuhan  $\text{SiO}_x$  yang berlebihan juga akan terhasil di kawasan antara muka. Selain itu, sampel yang tidak dilitupi dengan lapisan Ti tidak menunjukkan sebarang tindakbalas silisida bagi proses sepuh lindap dalam gas nitrogen (ex-situ).

Ji Shi dan rakan-rakan (2000) pula telah melaporkan bahawa lapisan  $\text{CoSi}_2$  yang berkualiti tinggi serta nipis (kurang dari  $50\text{\AA}$ ) dapat dihasilkan dengan penyejatan bersama kobalt dan silikon di atas lapisan silikon yang bersih. Proses tersebut hendaklah mengikut kaedah sepuh lindap berperingkat (sepuh lindap dilakukan dua kali iaitu semasa penyejatan dan selepas penyejatan).

F. La Via bersama rakannya (1993) walau bagaimanapun berpendapat silisida logam refraktori digunakan pada masa sekarang adalah untuk mengurangkan rintangan sentuhan. Disebabkan oleh pertumbuhan silisida yang tidak homogenus, litar pintas pada simpang akan berlaku pada simpang cetek. Ini secara tidak langsung akan mengurangkan kepekatan dopant di antara permukaan silisida/silikon dan akan mengakibatkan berlakunya rintangan sentuhan. Mereka berpendapat beberapa masalah yang dihadapi sebelum ini dapat diatasi dengan menanam dopant ke dalam silisida. Dopant-dopant ini akan bertindak sebagai sumber peresapan. Proses ini mempunyai kelebihan yang tersendiri. Antaranya ialah ia boleh mengelakkan kerosakan yang disebabkan oleh penanaman secara terus ke atas silikon dan pembentukan simpang cetek yang tersusun secara sendiri diantara lapisan antaramuka silisida/silikon sambil mempunyai kekasaran tertentu. Kepekatan dopant yang tinggi juga akan terhasil dan ini secara langsung akan mengurangkan rintangan.

Untuk penghasilan sentuhan yang sempurna di antara bahan logam dengan semikonduktor, tindakbalas yang dihadkan dan sekata pada kawasan antarafasa sentuhan memainkan peranan yang penting. Atom kobalt telah dikenalpasti sebagai sumber peresapan yang dominan semasa pembentukan  $\text{CoSi}_2$ . Telah diketahui semasa proses peresapan kobalt, semua kekotoran yang mungkin terhasil di atas permukaan silikon akan di 'cuci' (K. E Sundstrom, S. Petersson, P.A Tove, Phys. Stat., Vol. 20, 653 (1973)). Secara tak langsung, kaedah sepuh lindap dua peringkat (sepuh lindap pada suhu rendah untuk mencuci permukaan antarafasa dan disertai kemudiannya dengan sepuh lindap ketika suhu pertumbuhan epitaksi) didapati dapat memperbaiki epitaksi  $\text{CoSi}_2$ . Keputusan yang terhasil dari kaedah sepuh lindap 2 peringkat dan pemanasan substrat

ketika penyejatan dilakukan telah menunjukkan perubahan yang agak ketara. Kaedah ini berkesan bagi pertumbuhan epitaksi  $\text{CoSi}_2$  ke atas kedua-dua substrat Si(111) dan Si(100).

Permukaan substrat silikon biasanya akan dilapisi oleh lapisan nipis oksida asli walaupun setelah dicuci secara berhati-hati menggunakan bahan kimia tertentu. Kehadiran oksida asli ini akan mengganggu tindakbalas di antarafasa serta menghalang sebarang tindakbalas seterusnya berlaku dengan sekata dan sempurna. Walaupun diketahui dengan merendamkan substrat ke dalam larutan HF dapat mengurangkan ketebalan lapisan oksida asli, namun keadaan itu sebenarnya tidak banyak membantu pertumbuhan  $\text{CoSi}_2$  pada silikon. Kebanyakan logam silisida yang terhasil diketahui mempunyai kelebihan untuk mengeluarkan kekotoran dari permukaan silisida/silikon semasa tindakbalas. Kajian K. Ezoë dan rakan-rakannya (2000) telah mendapati langkah yang paling kritikal untuk menghasilkan lapisan epitaxial yang baik ialah dengan mencuci permukaan substrat dengan pemanasan pada suhu  $750^\circ\text{C}$  ke  $1250^\circ\text{C}$  menggunakan kaedah pemanasan UHV lampu. Keputusan yang didapati menunjukkan bahawa kaedah sepuh lindap dua peringkat amat berkesan untuk menghasilkan pertumbuhan epitaksi. Pertumbuhan epitaksi dapat dilihat pada suhu  $650^\circ\text{C}$  bagi kaedah sepuh lindap dua peringkat berbanding  $1000^\circ\text{C}$  bagi kaedah biasa. Untuk kaedah sepuh lindap dua peringkat, sepuh lindap yang dilakukan pada suhu rendah berfungsi untuk mengeluarkan kekotoran dari permukaan silisida/silikon manakala suhu tinggi (sepuh lindap peringkat kedua) dapat membantu pertumbuhan epitaksi. Pembentukan epitaksi  $\text{CoSi}_2$  atas silikon boleh dilihat pada suhu  $650^\circ\text{C}$  bagi kaedah sepuh lindap dua peringkat berbanding lebih dari  $1000^\circ\text{C}$  untuk sepuh lindap satu peringkat



Bagi C. Detavernier dan rakan rakannya (1999) dalam hasil penulisan mereka, mereka telah mendapati bahawa kontaminasi oksigen merupakan masalah utama untuk pembentukan  $\text{CoSi}_2$  di kawasan sempit. Sumber utama kontaminasi oksigen adalah disebabkan oleh persekitaran sepuh lindap. Dengan menggunakan gas yang berketulenan tinggi serta kaedah pembersihan ruang sepuh lindap tersebut, kebersihan persekitaran sepuh lindap dapat dikawal. Punca kedua terbesar dalam terhasilnya kontaminasi oksigen adalah disebabkan wap air yang terserap ke kawasan tertentu wafer yang telah di bentuk. Semasa proses permulaan sepuh lindap, wap air serta bahan- bahan oksida yang lain akan dilepaskan dari permukaan wafer ke permukaan kobalt yang disejat. Penggunaan lapisan penutup Ti yang berfungsi sebagai penghalang oksigen dapat membantu menyelesaikan masalah tersebut. Untuk  $\text{CoSi}_2$ , telah dilaporkan bahawa kehadiran lapisan nipis oksida yang ditumbuh secara kimia akan membentuk  $\text{CoSi}_2$  epitaksi. Kaedah ini juga dikenali sebagai kaedah *oxide mediated epitaxy* (OME).

Berdasarkan beberapa hasil penulisan yang didapati, kajian berkaitan suhu substrat yang dipertingkatkan dikaji. Ini merupakan “novelty” kajian saya yang mana saya ingin melihat perbezaan di antara substrat yang disejat pada suhu bilik dengan substrat yang disejat pada suhu tertentu. Sebelum kajian dijalankan, pemahaman berkaitan struktur atom kobalt dan silikon perlu diketahui. Bukan itu sahaja, tindakbalas yang paling optimum di antara keduanya juga penting agar suhu tindakbalas yang bersesuaian dapat digunakan. Penyusunan atom adalah lebih sempurna dalam suhu yang tinggi. Ini kerana atom- atom yang dikenakan suhu akan membentuk struktur yang sama dan agak mudah bergabung dengan unsur lain. Apabila berada dalam kekisi yang stabil, kedua kedua elemen (kobalt dan silikon) akan melekat dengan sekata dan sempurna. Ini

dapat dilihat melalui kajian L.J. Chen dan rakan-rakannya (1983) yang menerangkan pembentukan  $\text{CoSi}_2$  adalah lebih mudah dan stabil berbanding dengan kaedah konvensional iaitu dengan kaedah sepuh lindap pada suhu bilik..