

**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 (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 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°C ke 300°C . Kesemua sampel itu seterusnya disepuhlindap pada suhu sepuhlindap yang berbeza iaitu dari 600°C ke 850°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°C ketika suhu substrat berada pada 300°C . Keputusan ini menunjukkan penyejatan Co pada suhu tinggi akan menghasilkan hablur 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 (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 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°C to 300°C . All the samples were then annealed at different temperatures ranging from 600°C to 850°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°C with substrate temperature of 300°C . This showed that Co evaporated at high substrate temperature forms smaller and smoother grains of CoSi_2 . Also, the heating process reduced the oxygen level compared to those evaporated on substrate at room temperature.

SENARAI SINGKATAN:

SEM	Scanning Electron Microscope
EDX	Energy Dispersive X-Ray
XRD	X-Ray Diffraction
RCA	Radio Corporation of America
SALICIDE	Self-Aligned Silicide
CVD	Chemical Vapor Deposition
MBE	Molecule Beam Epitaxy
RTP	Rapid Thermal Annealer
VLSI	Very Large Scale Integration
ULSI	Ultra Large Scale Integration
OME	Oxide Mediated Epitaxy
RT	Room Temperature
HT1	Heated Substrate Temperature at 100°C
HT2	Heated Substrate Temperature at 200°C
HT3	Heated Substrate Temperature at 300°C
CZ	Czochralski Crystal Growth
DI	Deionized
HCl	Hydrochloric acid
HF	Hydrofluoric acid
H₂O₂	Hydrogen Peroxide
NH₄OH	Ammonium Hydroxide
Si	Silicon
SiO₂	Silicon Dioxide
a.m.u	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 2θ 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 2θ .	71

KANDUNGAN

	Mukasurat
TAJUK KAJIAN	i
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
SENARAI SINGKATAN	v
SENARAI RAJAH	vi
SENARAI JADUAL	viii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Konsep asas	1
1.2 Jenis jenis bahan	5
BAB 2 KAJIAN SEPINTAS LALU	20
BAB 3 ANALISIS PERALATAN	25
3.1 Kaedah penyejatan kobalt ke atas sampel	25
3.2 Mikroskop Pengimbas Elektron, SEM (Scanning Electron Microscope) dan 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
BAB 4 KAEDAH DAN EKSPERIMEN	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 penjejatan logam kobalt ke atas sampel	48
4.8 Langkah-langkah penjejatan logam kobalt ke atas wafer silikon	49
BAB 5 KEPUTUSAN KAJIAN	52
BAB 6 KESIMPULAN	74
BAB 7 HASIL PENULISAN	76
BAB 8 RUJUKAN	77

BAB 1 PENGENALAN:

1.1 Konsep asas

Dalam kajian yang dijalankan, wafer silikon digunakan sebagai substrat bagi pertumbuhan kobalt silisida (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 (SiO_2) dapat mengawal dan menghalang permukaan silikon itu sendiri dari sebarang kontaminasi serta meminimumkan kebocoran dalam litar. 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 ³ atau molekul	4.42×10^{22}	5.00×10^{22}	2.21×10^{22}	2.3×10^{22}
Atom/unit sel	8	8	8	-
Ketumpatan (atom/cm ³)	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 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 pemrosesan 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°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°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

Ciri-ciri silisida
Rintangan keping yang rendah
Rintangan sentuhan yang rendah
Senang dibentuk, tahap pemprosesan tinggi
Tidak merosakkan wafer silikon.
Tiada tindak balas dengan 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 (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 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

Bahan	Aplikasi	Kedah Pertumbuhan
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 ₂ Si	Pembahagi peresapan	Tindak balas terma terhadap logam
	Sentuhan pengeluar bipolar	Tindak balas terma terhadap logam
	Sumber peresapan	Tindak balas terma terhadap logam
WSi ₂	Lekatan get	
	Lekatan get dan simpang (sumber peresapan)	Tindakbalas alur-ion
	Lekatan get dan simpang	Kaedah CVD tertentu
TaSi ₂	Lekatan get	Proses prapemendapan
	Sumber peresapan	Tindakbalas alur-ion
MoSi ₂	Lekatan get	Proses prapemendapan
	Lekatan get dan simpang (sumber peresapan)	Tindakbalas alur-ion
TiSi ₂	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 ₂	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 ₂	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 ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	Jurang tenaga Φ_b (eV)	Suhu $T^*_{\text{stability}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	Tekanan (10^9 dyn/cm^2)
PtSi	28-35	0.87	~800	5
Pd ₂ Si	30-35	0.74	~700	5
WSi ₂	~30	0.65	>1000	-
TaSi ₂	35-55	0.559	>1000	18
MoSi ₂	~40	0.55	>1000	10
TiSi ₂	13-16	0.6	~900	15-25
CoSi ₂	18-20	0.64	~1000	8-10
ZrSi ₂	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

Relau Biasa	RTP
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 CoSi₂ 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 aluminium 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. Pd₂Si 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 aluminium dan TiN stabil untuk bertindakbalas dengan SiO₂ kerana kedua-dua bahan tersebut akan mengurangkan isipadu SiO₂ untuk menghasilkan ikatan antaramuka logam-oksida yang akan menambahkan pelekatan dan kestabilan kepada sentuhan tersebut. Namun aluminium 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.

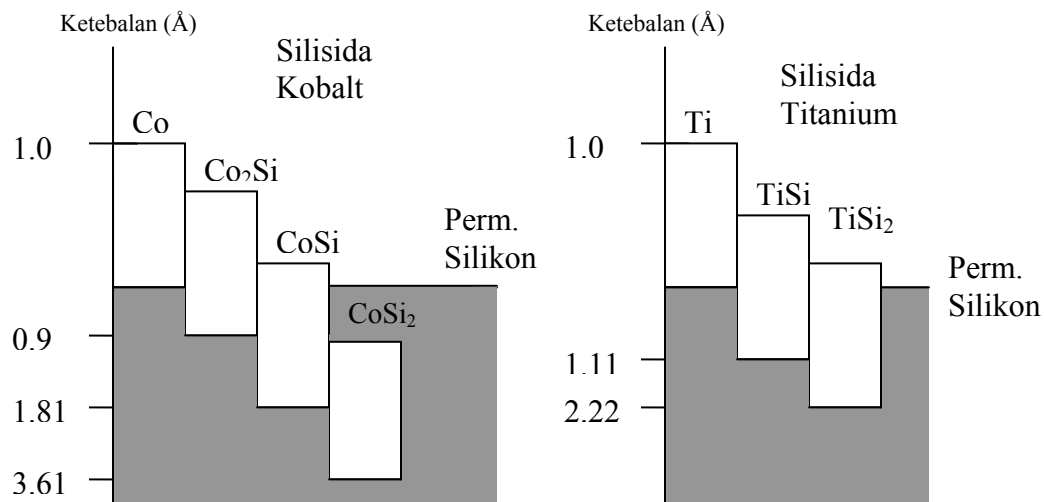
Dalam kesemua silisida yang ada, $CoSi_2$ dan $NiSi$ mempunyai kelebihan yang ketara berbanding silisida-silisida yang lain. Ini adalah kerana kedua-dua silisida tersebut mempunyai kerintangan yang paling rendah ($\sim 15\mu\Omega.cm$), kestabilan terma yang amat baik (sehingga $700^\circ C-900^\circ C$), 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 \AA silikon per \AA untuk membentuk 3.5 \AA silisida. Ini berbeza dengan $TiSi_2$ yang mana tindakbalasnya akan 'menelan' 2.3 \AA silikon per

Å untuk membentuk 2.5 Å silisida. Ini boleh dikatakan sebagai satu kelebihan kepada CoSi_2 kerana kedua-dua CoSi_2 dan 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, CoSi_2 dan 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 disepuhlandap 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 CoSi₂ tidak mengalami sebarang perubahan dan pembentukan ini termasuklah pembentukan daripada kaedah menggunakan dopan. Bagi kes 'out-diffusion' iaitu dari CoSi₂ 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 CoSi₂ 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 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 SiO_x dalam lapisan Co. Pertumbuhan 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 CoSi_2 yang berkualiti tinggi serta nipis (kurang dari 50\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 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 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 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 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°C ke 1250°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°C bagi kaedah sepuh lindap dua peringkat berbanding 1000°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 CoSi_2 atas silikon boleh dilihat pada suhu 650°C bagi kaedah sepuh lindap dua peringkat berbanding lebih dari 1000°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 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 CoSi_2 , telah dilaporkan bahawa kehadiran lapisan nipis oksida yang ditumbuh secara kimia akan membentuk 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 CoSi_2 adalah lebih mudah dan stabil berbanding dengan kaedah konvensional iaitu dengan kaedah sepuh lindap pada suhu bilik..