

Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan Dan Sumber Mineral

**KESAN PENINGKATAN SUHU TERHADAP PEMBENTUKAN TITANIUM
SILISIDA**

oleh

PRAKASH BABU A/L BALAKRISHNAN

Penyelia: Cik. Khatijah Aishah Yaacob

Disertasi ini diserahkan untuk memenuhi sebahagian syarat keperluan bagi ijazah Sarjana
Muda Kejuruteraan dengan Kepujian
(Kejuruteraan Bahan)

Universiti Sains Malaysia
Mac 2005

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya ingin memanjatkan kesyukuran saya kepada Tuhan yang Maha Esa kerana limpah dan kurnianya saya dapat menyempurnakan Projek Penyelidikan Tahun Akhir dengan berjayanya

Saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada penyelia projek penyelidikan tahun akhir saya, Cik Khatijah Aisha Binti Yaacob di atas bimbingan dan tunjuk ajarnya sepanjang projek ini. Beliau telah memberi sokongan moral kepada saya dari masa ke semasa untuk menyempurnakan projek ini dengan sistematik. Tambahannya beliau membantu saya untuk mendapatkan maklumat-maklumat yang penting bagi kajian ini. Bimbingan beliau amat dihargai.

Seterusnya saya ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak pentadbiran Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral (PPKBSM) dan Pusat Pengajian Sains Fizik (PPSF) terutamanya para juruteknik yang telah membantu saya untuk menjalankan eksperimen sepanjang tempoh penyelidikan ini dengan memberi komitmen yang amat baik. Mereka adalah seperti berikut Cik Ee Bee Cho (PPSF), Encik Mutalib Bin Sh Usman (PPSF), Encik Abd. Rashid Bin Selamat (PPKBSM), Encik Razak Bin Embi (PPKBSM) dan semua juruteknik lain yang membantu saya sepanjang penyelidikan ini dari segi teknikal.

Saya ingin merakamkan ucapan terima kasih saya kepada semua kakitangan-kakitangan di PPKBSM. Terutamanya Pengerusi Rancangan Kejuruteraan Bahan iaitu Prof Dr. Zainal Arifin Bin Ahmad yang telah melibatkan diri dalam menjayakan projek ini. Ucapan terima kasih juga saya ingin tujukan kepada Cik Srimala (PPKBSM) kerana membantu saya dengan memberi tunjuk ajar untuk menjalankan penyelidikan ini.

Akhir sekali, saya ucapkan jutaan terima kasih kepada ibu-bapa saya ke atas pengorbanan dan sumbangan mereka demi perkembangan akademik saya sehingga kini. Seterusnya, saya mengucapkan terima kasih kepada rakan-rakan saya yang membantu saya dari pelbagai aspek untuk menyiapkan penyelidikan ini.

Prakash Babu Balakrishnan

Kejuruteraan Bahan

Februari 2005.

ABSTRAK

Penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji kesan suhu ke atas lapisan titanium silisida (TiSi_2) yang ditumbuhkan ke atas wafer silikon. Penyelidikan ini dijalankan untuk meneliti kesan peningkatan suhu terhadap pembentukan titanium silisida. Penyelidikan ini bertujuan untuk membuat perbandingan terhadap kesan peningkatan suhu terhadap ketebalan lapisan titanium silisida yang terbentuk, rintangan kepingan lapisan titanium silisida dan hubungan rintangan kepingan terhadap fasa-fasa yang hadir pada sesuatu suhu dengan mikrostrukturnya. Lapisan titanium silisida dibentuk dengan kaedah pemercikan magnetron dan diikuti oleh dua peringkat proses sepuhlindapan dalam julat suhu 400-1100 °C selama 10 minit. Tiga pencirian dibuat dalam penyelidikan ini iaitu, pembelauan sinar-X (XRD) untuk mengesan fasa-fasa yang hadir, mikroskop imbasan elektron (SEM) untuk memerhatikan mikrostruktur lapisan silisida dan penduga empat titik bagi mengukur rintangan kepingan lapisan silisida yang terbentuk pada pelbagai suhu sepuhlindapan. Keputusan yang diharapkan, iaitu pembentukan TiSi_2 tidak dicapai dalam kajian ini disebabkan pengaruh oksigen. Secara umumnya, ketebalan silisida bertambah, rintangan kepingannya berkurang dan saiz butirannya bertambah apabila suhu sepuhlindap bertambah. Titanium silisida dengan fasa-fasa yang berbeza terbentuk pada suhu-suhu yang berbeza. Selain daripada fasa-fasa titanium silisida seperti TiSi , Ti_5Si_3 dan TiSi_2 yang terbentuk pada suhu-suhu yang berbeza di antara julat 400-800 °C, fasa-fasa oksida titanium turut hadir bersamanya.

STUDY THE EFFECT OF TEMPERATURE INCREASES SUBJECTED TO TITANIUM SILICIDE (TiSi₂) FORMATION

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the effect of temperature increases subjected to titanium silicide(TiSi₂) formation. This study is based on the comparison of thickness sheet resistance and grain size of titanium silicide with temperatures increases. The relation between the sheet resistance with the grain size and the phases present in various temperature also studied in this project. The titanium silicide formed through the depositon of the titanium on the silicon by magnetron sputtering and followed by the two step of annealing (pre and post annealing) within the temperature range 400-1100 °C for 10 minutes. Three types of characteristic carried out in this study are X-ray diffraction (XRD) to determine the presences of titanium silicide phases, scanning electron microscope (SEM) to obtain the the microstructure of the titanium silicide and four point probe to determine the sheet resistance of titanium silicide which formed in various annealing temperatures. However, the expected results, the formation of TiSi₂ didn't obtained because of the oxygen's influence in titanium silicide formation. Generally the thickness and grain size of the formed silicide increasse when the annealing temperature increase. But the sheet resistance of the silicide film was decrease when the temperature increases. Various phase of titanium silicide formed in differrent annealing temperature in the range of 400-800 °C, such as TiSi, Ti₅Si₃ and TiSi₂. Besides the the titanium silicide phases, other type of phases also presents, such as oxides of titanium and silicon.

ISI KANDUNGAN

Penghargaan	i
Abstrak	iii
Abstract	iv
Isi kandungan	v
Senarai jadual	viii
Senarai rajah	x
Bab 1: Pengenalan	
1.1) Pengenalan umum.....	1
1.2) Objektif kajian.....	8
1.3) Skop kajian.....	9
1.4) Organisasi penyelidikan.....	10
Bab 2: Kajian Persuratan	
2.1) Pengenalan kepada silisida.....	13
2.2) Proses-proses silisida.....	18
2.2.1) Silisida dalam aplikasi silisida	20
2.2.2) Silisida bagi aplikasi polisida	20
2.3) Sifat-sifat silisida	27
2.4) Teknik-teknik pembentukan silisida.....	31
2.4.1) Pengendapan wap fizikal	32
2.4.1.1) Proses penyejatan.....	33
2.4.1.2) Pemercikan	37
2.4.2) Pengendapan wap kimia	38

2.5) Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan silisida	40
2.5.1) Kecekapan pemanasan	40
2.5.2) Pengaruh persekitaran	43
2.5.3) Pengaruh penopian (capping) dan sub-lapisan	47
2.6) Kandungan fasa dan kinetik pertumbuhan	49
2.6.1) Titanium-Silikon	51
2.6.1.1) Titanium disilisida ' <i>polymorphism</i> '	55
2.6.1.2) Pembentukan C49-TiSi ₂ dalam aplikasi silisida	55
2.6.1.3) Transformasi fasa C49 kepada C54.....	57
2.6.1.4) Pengumpulan filem nipis	60
2.6.1.5) Pemprosesan silisida bagi peranti sub-sukuan-mikron (<i>sub-quarter devices</i>).....	61
2.6.2) Perbezaan kinetik pembentukan titanium silisida daripada RTP dan relau sepuhlindungan konvensional.....	62
2.7) Struktur lapisan silisida.....	68
2.7.1) Pertumbuhan butiran.....	69
2.7.2) Sifat-sifat elektro-fizikal dalam silisida	71

Bab 3: Tatacara Eksperimen

3.1) Pemotongan wafer	76
3.2) Pembersihan wafer	76
3.2.1) Larutan-larutan piawai untuk pencucian RCA	79
3.2.2) Langkah-langkah pencucian RCA.....	80

3.2.3) Langkah-langkah berjaga dalam pencucian RCA.....	82
3.3) Pemercikan (<i>Sputtering</i>)	82
3.4) Proses Sepuhlindapan	86
3.5) Kaedah pemunaran.....	89
3.6) Peralatan pencirian	91
3.6.1) <i>Surface</i> Profilometer.....	91
3.6.2) Filemetrik dan Elipsometer	92
3.6.3) Rintangan kepingan	94
3.6.4) Mikroskop imbasan elektron (SEM)	96
3.6.5) Pembelauan sinar-X (XRD)	98
3.6.5.1) Kaedah penentuan sebatian yang hadir	100
Bab 4: Keputusan dan Perbincangan	
4.1) Pencirian ketebalan titanium silisida	104
4.2) Pencirian rintangan kepingan titanium silisida	108
4.3) Pencirian mikrostruktur	116
4.4) Pencirian pembelauan sinar-X.....	121
Bab 5: Kesimpulan dan Cadangan	
5.1) Kesimpulan	133
5.2) Cadangan	136
Rujukan	138

SENARAI JADUAL

- Jadual 1.1: Ringkasan sifat-sifat beberapa silisida dalam aplikasi litar bersepadu berskala sangat besar (*VLSI*) [Mann, 1995] m.s.6.
- Jadual 2.1: Sifat-sifat silisida yang diingini untuk aplikasi litar bersepadu [Murarka, 1994]. m.s.16
- Jadual 2.2: Silisida-silisida kaya silikon yang stabil (*silicon-rich stable silicides*) dan sifat-sifatnya [Murarka, 1994]. m.s.17
- Jadual 2.3: Ringkasan sifat-sifat silisida. [Victor, 1997]. m.s.30.
- Jadual 2.4: Parameter-parameter pembentukan titanium silisida [Victor, 1997]. m.s.53.
- Jadual 2.5: Kerintangan pukal silisida yang dibentuk daripada sintesis penyerapan dalam struktur filem-nipis logam – silikon [Victor, 1997]. m.s.74.
- Jadual 3.1: Ringkasan kaedah pembersihan wafer dengan menggunakan larutan-larutan kimia piawai. m.s.81.
- Jadual 3.2: Pembahagian sampel-sampel untuk proses sepuhlindapan. m.s.88.
- Jadual 3.3: Unsur-unsur yang hadir untuk setiap sampel kajian dan sebatian yang mungkin dihasilkan melalui tindak balas unsur-unsur ini. m.s.101.
- Jadual 4.1: Ketebalan lapisan titanium silisida yang terbentuk pada pelbagai suhu. Masa sepuhlindapan adalah selama 10 minit bagi ke semua sampel pada kedua-dua peringkat sepuhlindapan. m.s.104.
- Jadual 4.2: Nilai purata ketebalan lapisan titanium silisida selepas sepuhlindapan peringkat pertama. m.s.105.

Jadual 4.3: Nilai rintangan kepingan lapisan titanium silisida dengan ketebalannya selepas sepuhlindapan pertama. m.s.109.

Jadual 4.4: Nilai purata ketebalan dan rintangan kepingan lapisan Ti-silisida selepas pra-sepuhlindapan. m.s.109.

Jadual 4.5: Nilai rintangan kepingan bagi lapisan Titanium silisida selepas sepuhlindapan (*post annealing*). m.s.112.

Jadual 4.6: Data termodinamik bagi beberapa kompaun Ti, Si dan O berfungikan suhu [*Brama, 2004*]. m.s.129.

Jadual 4.7: Ringkasan kehadiran fasa-fasa dalam pembentukan titanium silisida pada pelbagai suhu sepuhlindapan. m.s.130.

Jadual 4.8: Rintangan kepingan bagi fasa-fasa yang hadir dalam pembentukan titanium silisida pada pelbagai suhu sepuhlindapan. m.s.132.

SENARAI RAJAH

- Rajah 1.1: Lenganan get per tahap yang disimulasi bagi pengayun cincin tak berbeban dengan berfungikan rintangan kepingan konduktor get [*Mann 1995*]. m.s.4
- Rajah 1.2: Turutan langkah-langkah eksperimen dalam kajian. m.s.12
- Rajah 2.1: Jadual berkala silisida [*Murarka ,1994*]. m.s.15
- Rajah 2.2: Skematik bagi turutan proses salisida [*Mann, 1995*]. m.s.19
- Rajah 2.3: Skematik turutan proses polisida [*Mann, 1995*]. m.s.19
- Rajah 2.4: Mikrograf keratan rentas TEM bagi tindanan get polisida yang dipunar [*Mann, 1995*]. m.s.21
- Rajah 2.5: Rintangan kepingan asal melawan suhu bagi kadar pemanasan $50\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ bagi penghabluran filem TiSi_2 amorfus berketebalan 100-nm. m.s.23 [*Mann, 1995*].
- Rajah 2.6: Turutan pembelauan X-ray asal bagi sampel yang dipaten dengan kelebaran 0.4 μm jalur-jalur polisida. Sampel dipanaskan pada $10\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ daripada 600 ke 1050 $^{\circ}\text{C}$. m.s.24 [*Mann, 1995*].
- Rajah 2.7: Keamatan-keamatan pembelauan X-ray [*Mann, 1995*]. m.s.25.
- Rajah 2.8: Rintangan asal melawan suhu bagi filem polisida WSi_2 amorfus dengan ketebalan 200 nm [*Mann, 1995*]. m.s.26.
- Rajah 2.9: Perbezaan di antara proses CVD dan PVD [*Hong Xiao, 2001*]. m.s.33.
- Rajah 2.10: Skematik bagi penyejatan terma [*Hong Xiao, 2001*]. m.s.35.
- Rajah 2.11: Skematik bagi penyejatan alur elektron [*Hong Xiao, 2001*]. m.s.36.

- Rajah 2.12: Mekanisma proses permercikan magnetron [*Angstrom Sciences, Inc. Overview of Sputtering*]. m.s.38.
- Rajah 2.13: Skematik proses CVD [*Hong Xiao, 2001*]. m.s.39.
- Rajah 2.14: Suhu kiraan melawan masa bagi silikon 380- μm -wafer tebal dengan filem-filem pemantulan yang berlainan pada permukaan berasaskan pemanasan cahaya yang tidak bertindanan bagi satu belah pada $W_1 = 8 \text{ W/cm}^2$ bagi 20s. [*Victor, 1997*].m.s.42.
- Rajah 2.15: Spektra serakan belakang ion-ion He^+ 2-MeV bagi filem tantalum pada wafer silikon (111) bagi pemanasan cahaya tidak seragam (*incoherent light heating*) dalam udara selama 10s [*Victor, 1997*]. m.s.45
- Rajah 2.16: Skematik bagi tindak balas titanium-silikon pada suhu-suhu RTP yang berbeza dalam nitrogen [*Victor, 1997*]. m.s.48.
- Rajah 2.17: Spektra serakan belakang bagi struktur titanium-silikon yang diproses pada suhu $600 \text{ }^\circ\text{C}$ pada masa-masa yang berbeza [*Victor, 1997*]. m.s. 52
- Rajah 2.18: Tindak balas serentak yang berlaku semasa pembentukan TiSi_2 dalam applikasi salisida [*Mann, 1995*]. m.s.56.
- Rajah 2.19: Pengukuran rintangan asal bagi tindak balas Ti dengan filem polisilikon semasa turutan pembentukan RTP [*Mann, 1995*]. m.s. 58
- Rajah 2.20: Skematik rajah tenaga bagi sistem TiSi_2/Si [*Mann, 1995*]. m.s.60.
- Rajah 2.21: Pengillustrasian proses tingkap (*window process*) yang minimum dikurangkan bagi pembentukan rintangan rendah, jalur-jalur TiSi_2 yang sempit apabila ketebalan filem dan saiz cirian diturunkan [*Mann, 1995*]. m.s.62.
- Rajah 2.22: Plot Arrhenius bagi ketebalan persegi silikon diguna terhadap masa melawan

songsangan bagi suhu untuk tindak balas Ti pada Si dihasilkan oleh relau sepuhlindap pada suhu 575-650 °C dan oleh RTP pada suhu 650-750 °C, $E_g = 3.0 \text{ eV}$. [*Ponpon, 1989*]. m.s.67.

Rajah 2.23: Kinetik pertumbuhan butiran bagi silisida melalui RTP bagi filem-filem tungsten dan platinum di atas silikon (100) pada 1100 dan 400 °C [*Victor, 1997*]. m.s.70.

Rajah 2.24: Purata saiz butiran bagi PtSi dibentuk melalui RTP bagi filem platinum pada silikon (111) yang berfungsi suhu pemrosesan [*Victor, 1997*]. m.s.70.

Rajah 2.25: Rintangan kepingan bagi lapisan-lapisan silisida yang dibentuk melalui RTP (filem-filem logam pada silikon) [*Victor, 1997*]. m.s.74.

Rajah 3.1: Skematik bentuk wafer silikon sebelum dan selepas dipotong. m.s.77.

Rajah 3.2: Lakaran skematik untuk proses pemercikan [*Hong Xiao, 2001; Subash Mahajan*]. m.s.85

Rajah 3.3: Mesin pemercikan magnetron (*Magnetron sputtering machine*). m.s.86.

Rajah 3.4: Gambar relau tiub melintang yang digunakan dalam eksperimen ini. m.s.89.

Rajah 3.5: Peralatan filemetrik. m.s.93.

Rajah 3.6: Lakaran aliran arus dan voltan dalam operasi suatu penduga empat titik [*Hong Xiao, 2001*].m.s.95.

Rajah 3.7: Peralatan untuk mengukur rintangan kepingan secara automatik. m.s.96.

Rajah 3.8: Skematik sebuah difraktometer sinar-X [*William, 1993*]. m.s.99.

Rajah 3.9: Paten pembelauan XRD [*William, 1993*]. m.s.99.

Rajah 3.10: Kaedah mendapatkan puncak pembelauan sampel. m.s.101.

Rajah 3.11: Kaedah menentukan sebatian yang hadir. m.s.102.

- Rajah 4.1: Kesan peningkatan suhu terhadap ketebalan lapisan silisida selepas sepuhlindapan peringkat pertama. m.s.107.
- Rajah 4.2: Graf menunjukkan kesan peningkatan suhu terhadap ketebalan titanium silisida selepas sepuhlindapan kedua (*post annealing*). m.s.107.
- Rajah 4.3 : Kesan suhu terhadap rintangan kepingan Ti-silisida yang terbentuk selepas pra- sepuhlindapan. m.s.110.
- Rajah 4.4 : Kesan suhu sepuhlindapan (*post annealing*) terhadap rintangan kepingan Lapisan Ti-silisida. m.s.112.
- Rajah 4.5: Rintangan kepingan melawan suhu sepuhlindapan bagi pembentukan titanium silisida. (Graf ini adalah hanya sebagai contoh sahaja). m.s.114.
- Rajah 4.6: Bentuk butiran yang diperhatikan menggunakan SEM bagi sampel-sampel yang telah melalui pra-sepuhlindapan pada suhu 400°C dan seterusnya sepuhlindapan (*post annealing*) pada suhu 600 °C (a) dan 800 °C (b). m.s.117.
- Rajah 4.7: Bentuk butiran yang diperhatikan menggunakan SEM bagi sampel-sampel yang telah melalui pra-sepuhlindapan pada suhu 600°C dan seterusnya sepuhlindapan (*post annealing*) pada suhu 600 °C (a), 800 °C (b) dan 1000 °C (c). m.s.118.
- Rajah 4.8: Bentuk butiran yang diperhatikan menggunakan SEM bagi sampel-sampel yang telah melalui pra-sepuhlindapan pada suhu 800°C dan seterusnya sepuhlindapan (*post annealing*) pada suhu 800 °C (a), 1000 °C (b) dan 1100 °C (c). m.s.119.

Rajah 4.9: Spektrum pembelauan sinar-X bagi struktur lapisan Ti/Si. (a) disepuhlandap pada 600 °C, (b) disepuhlandap pada 700 °C, (c) disepuhlandap pada 800 °C dan (d) disepuhlandap pada 850 °C (selama 20minit) [*Umapathi, 1998*].
m.s.124.

Rajah 4.10: Corak XRD bagi titanium silisida dan titanium oksida setelah sepuhlandapan kedua. [*Brama, 2004*]. (Hanya sebagai rujukan sahaja). m.s.125.

Rajah 4.11: Skematik kehadiran fasa-fasa dalam pembentukan titanium silisida. m.s.131.

BAB 1

PENGENALAN

1.1) Pengenalan umum

Perkembangan dan kemajuan industri semikonduktor adalah begitu pesat dengan memperkenalkan pelbagai kaedah berteknologi tinggi pada setiap hari. Ini dapat dilihat dan dibuktikan melalui pengecilan saiz peranti-peranti semikonduktor yang berterusan dan bilangan transistor di atas litar bersepadu yang semakin bertambah. Berbanding dengan dekad yang lepas, teknologi fabrikasi litar bersepadu menghadapi pelbagai cabaran dan pemrosesannya menjadi semakin rumit.

Pelbagai kajian sering dijalankan secara berterusan untuk menghasilkan litar bersepadu berskala besar (*Very Large Scale Intergration [VLSI] Circuit*) yang berkualiti tinggi di samping meminimumkan kos fabrikasinya. Di samping itu, kelajuan litar-litar bersepadu turut menjadi salah satu faktor utama yang perlu dipertimbangkan oleh kebanyakan penyelidik untuk memaksimumkan keefisienan fabrikasinya. Oleh yang demikian dua parameter yang penting harus diteliti ialah kapasitan parasitik dan juga rintangan bersiri untuk mencapai kelajuan operasi litar bersepadu yang maksimum. Berikutan daripada itu, kedua-dua kapasitan parasitik dan rintangan bersiri harus diminimumkan supaya masa lengah rintangan-kemuatan dapat diminimumkan dan frekuensi jam ditingkatkan [*Jenkiss, 1996*]. Justeru itu penyambungan logam dan pertumbuhan lapisan logam untuk tujuan antara sambung (*interconnection*) dalam peranti semikonduktor merupakan salah satu

proses yang mendapat perhatian daripada ahli-ahli penyelidik berikutan keperluan industri semikonduktor . Pelbagai sebatian diaplikasikan untuk tujuan saling hubungan di dalam peranti, silisida logam kini telah menjadi pilihan utama untuk sentuhan logam dan antara sambung tempatan bagi mencapai objektif yang dinyatakan seperti di atas.

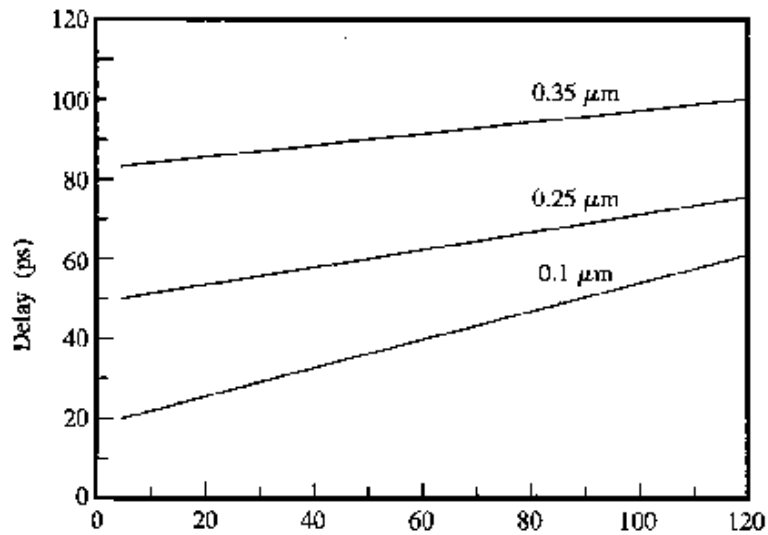
Penggunaan silisida-silisida membenarkan pembentukan sumber, get dan saluran dengan kerintangan yang rendah yang mana boleh mengurangkan rintangan pada get CMOS dan rintangan sesiri punca/saluran berbanding dengan bukan-silisida. Ini akan meningkatkan kelajuan operasi litar. Silisida logam memiliki beberapa ciri atau sifat yang unik untuk digunakan dalam peranti semikonduktor bagi mempertingkatkan keefisienan litar bersepadu. Kini, silisida logam telah menjadi bahan yang tidak dapat boleh dipisahkan daripada peranti-peranti elektronik disebabkan ciri- ciri istimewa yang dimiliki oleh sebatian ini, iaitu seperti berikut:

- a) Keringanan sentuhan yang rendah pada kedua-dua jenis silikon (jenis-n & jenis-p).
- b) Kestabilan terma yang tinggi
- c) Kerintangan spesifik yang rendah
- d) Kebolehprosesan yang baik
- e) Kesesuaian proses penghasilan dan penggunaannya dalam peranti elektronik, dengan teknologi silikon yang sedia ada.

Berasaskan ciri-cirinya yang dinyatakan seperti di atas, maka silisida logam juga telah memiliki potensi digunakan sebagai sentuhan ohmic, sawar Schottky, and sawar penyerapan antara perlogaman aluminium atau kuprum dengan silikon [Victor, 1997].

Penggunaan antara sambung tempatan, melibatkan satu tahap tambahan topeng (*additional mask level*) seperti HPSAC (*High-performance silicided amorphuses-silicon contact and interconnection technology*) dan penggunaan lapisan TiN yang dipaten telah diperkenalkan pada kali pertama pada tahun 1985. Sejak itu, pelbagai perubahan dan pendekatan yang berkeyakinan telah ditingkatkan dalam proses silisida. Proses-proses silisida dan antara sambung tempatan telah digunakan atau dipertimbangkan khas terhadap perkara yang dianggap mempunyai potensi yang paling tinggi atau perkara yang merupakan dominan dalam industri masa kini. Beberapa had dan cabaran integrasi masa hadapan bagi silisida-silisida biasa dan pengaplikasian saling hubungan tempatan diberi perhatian [Mann, 1995].

Silisida-silisida digunakan secara meluas dalam pemprosesan VLSI untuk mengelakkan peningkatan kerintangan antara sambung, di samping berkaitan dengan pengecilan kelebaran-jalur (*linewidth*) dan ketebalan filem. Ini dapat digambarkan melalui pemeriksaan perhubungan di antara lengahan get yang disimulasi bagi satu tahap, seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.1.



Rajah 1.1: Lenganan get per tahap yang disimulasi bagi pengayun cincin tak berbeban dengan berfungsikan rintangan kepingan konduktor get. Simulasi dipersembahkan bagi beberapa panjang-panjang saluran [Mann, 1995].

Walaupun kerintangan elektrik adalah salah satu faktor utama, isu-isu integrasi proses juga memainkan peranan yang penting dalam pemilihan bahan saling hubungan tempatan yang paling sesuai. Maka, pelbagai kajian dijalankan untuk mendalami mengenai sifat-sifat kimia dan fizikal silisida-silisida seperti kerintangan elektrik, kestabilannya pada suhu tinggi, sifat-sifat pengoksidaan, kimia hablur silisida, rintangan terhadap kakisan dan kebolehesapan silikon. Kestabilan terma silisida adalah sangat penting untuk menggunakannya dalam proses salisida dan polisida. Secara umum, suhu yang digunakan dalam proses fabrikasi litar harus memastikan silisida mempunyai sifat kestabilan terma yang baik. Berikutan daripada itu, logam silisida refraktori (*refractory silicide metals*)

dengan takat peleburan yang lebih tinggi dan mempunyai kestabilan terma yang lebih baik telah menjadi pilihan utama dalam industri fabrikasi semikonduktor [Mann, 1995].

Kini, terdapat dua proses yang utama digunakan dalam industri semikonduktor iaitu polisida dan salasida. Proses polisida adalah pembentukan silisida pada get elektrod polisilikon (*polysilicon gate electrode*) manakala proses salasida adalah, proses penjajaran-diri lapisan silisida pada kawasan sumber dan saluran [Mann, 1995].

Litar bersepadu berskala sangat besar bersaiz sub-mikron yang beroperasi pada voltan yang lebih rendah mengalami masalah kerintagan tinggi akibat daripada pendopan polisilikon. Dengan itu, proses titanium silisida telah dikenal pasti sebagai salah satu teknologi paling penting bagi meningkatkan prestasi litar [Hong Xiao, 2001]. Kaedah terbaru untuk mempertingkatkan pembentukan titanium disilisida daripada dwilapisan Mo/Ti telah dikaji. Kaedah langkah tunggal proses titanium silisida, untuk membentuk titanium disilisida daripada Mo/ Ti / TiN telah dicadangkan. Berdasarkan kajian terbaru, konsep silisida yang terbaru untuk mengekalkan fabrikasi 'Shallow junction' di bawah lapisan silisida sedang dikaji. Kemajuan dalam bidang ini menunjukkan bahawa titanium disilisida masih merupakan salah satu calon yang terbaik untuk aplikasi dalam teknologi sub-mikron CMOS.

Seperti yang dikatakan sebelum ini terdapat pelbagai jenis silisida yang digunakan dalam industri berdasarkan beberapa parameter dan sifat-sifat tertentu berasaskan keperluan

fabrikasi. Jadual 1.1 meringkaskan beberapa jenis silisida yang penting dan paling banyak digunakan dalam industri serta sifat-sifatnya.

Jadual 1.1: Ringkasan sifat-sifat beberapa silisida dalam applikasi litar bersepadu berskala sangat besar (VLSI) [Mann, 1995]

Jenis silisida	Kerintangan (Ω -cm)	Pengembangan terma (ppm/ $^{\circ}$ C)	Kandungan Si (nm of Si)/ (nm bagi silisida)	Takat peleburan ($^{\circ}$ C)
C54-TiSi₂	12-25	12-13	0.904	1540
CoSi₂	18-25	~10	1.03	1326
MoSi₂	20-100	~	0.99	1980
TaSi₂	10-50	8-11	0.92	~
Tetragonal WSi₂	50-120	6-8	0.98	2165

Berdasarkan Jadual 1.1 didapati nilai kerintangan bagi setiap silisida adalah berbeza. Dalam industri, silisida dengan nilai kerintangannya yang rendah mendapat sambutan yang baik. Maka, kini kobalt silisida merupakan silisida yang paling banyak digunakan dalam litar bersepadu. Sebelum itu titanium merupakan bahan yang paling utama yang digunakan bagi tujuan yang sama. Dalam kajian ini, titanium silisida diberi perhatian untuk mengkaji kesan peningkatan suhu terhadap strukturnya. Seperti yang didapati di dalam jadual 1.1, nilai kerintangan titanium silisida mempunyai satu julat tertentu. Faktor yang mempengaruhi nilai ini adalah saiz sempadan butir titanium silisida dan juga kecacatan serta bendasing yang hadir pada strukturnya semasa fabrikasinya. Struktur titanium silisida amat bergantung kepada saiz butirannya yang dipengaruhi oleh suhu. Titanium silisida

dengan saiz butiran yang berbeza akan menunjukkan sifat yang berbeza. Inilah fenomena yang menjadi tumpuan dalam kajian ini.

Kebanyakan aplikasi-aplikasi silisida menggunakan proses silisida jajar-diri adalah berasaskan kepada titanium (Ti). Titanium silisida (TiSi_2) merupakan salah satu bahan paling menarik di antara logam-logam silisida refraktori disebabkan kestabilan relatifnya pada suhu tinggi dan kerintangannya yang rendah. Kejayaan aplikasi proses titanium silisida telah dilaporkan dalam kebanyakan teknologi fabrikasi litar bersepadu .

Penggunaan teknologi titanium silisida dalam teknologi wafer telah dikaji dan diteliti. Kajian-kajian yang telah dijalankan tersebut telah memberi perhatian terhadap pembentukan silisida pada persekitaran yang berbeza, suhu-suhu yang berbeza, pemilihan punaran, penyambungan dan hubungan antara Ti dan SiO_2 . Tambahnya, pengukuran rintangan kepingan dan rintangan penyambung telah dibuat, dan statistik alah pada peranti-peranti yang telah difabrikasikan dikaji dengan tujuan untuk membuat pencirian terhadap proses titanium silisida.

1.2) Objektif kajian

- i. Menentukan fasa-fasa yang hadir pada sesuatu suhu dalam pembentukan silisida.
- ii. Mengkaji kesan peningkatan suhu terhadap ketebalan silisida yang terbentuk.
- iii. Mengkaji kesan peningkatan suhu terhadap rintangan kepingan silisida.
- iv. Mengkaji kesan peningkatan suhu terhadap struktur titanium silisida yang ditumbuhkan di atas wafer silikon.
- v. Mengkaji hubungkait antara struktur pada pelbagai suhu terhadap ciri-ciri konduktiviti lapisan titanium silisida.
- vi. Mengkaji kesan persekitaran terhadap pembentukan silisida (oksigen) yang mungkin mempengaruhi objektif-objektif di atas.

1.3) Skop kajian

Kajian yang dijalankan adalah hanya dihadkan kepada mengkaji kesan peningkatan suhu terhadap struktur titanium silisida yang ditumbuhkan di atas wafer silikon. Hanya tiga pencirian sahaja dapat dijalankan sepanjang kajian ini seperti yang telah dirancangkan iaitu, rintangan kepingan dengan menggunakan penduga empat titik, kehadiran fasa dengan kaedah pembelauan sinar-x dan perubahan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop imbasan elektron (SEM). Kajian ini akan memberikan satu keputusan yang lebih dinamik jika skopnya diluaskan lagi dengan mengambil kira masa sebagai satu parameter yang utama. Tambahannya, titanium merupakan satu bahan yang mudah teroksida setelah ditumbuhkan di atas wafer silikon, maka kajian juga diluas dengan mengambil kesan pengoksidaan titanium silisida terhadap strukturnya yang mempengaruhi ciri-ciri elektrik dan elektronik sesuatu peranti. Dalam kajian ini hanya suhu sahaja diambil kira untuk menjalankan kerja-kerja makmal berasaskan skop-skop seperti di atas disebabkan:

- a) Kesuntukkan masa bagi menyiapkan kajian ini. Kajian ini hanya diberi tempoh masa tiga bulan bagi menyiapkan kesemua kerja makmal dan juga laporan lengkap.
- b) Peralatan untuk membuat kajian ini adalah terhad. Terutamanya mesin pemercikan dan relau tiub kaca yang hanya dengan bilangan satu di makmal. Ramai pelajar yang sering menggunakan peralatan-peralatan ini. Oleh itu terpaksa menunggu untuk giliran bagi menjalankan eksperimen dan ini menyebabkan eksperimen tidak dapat dijalankan seperti yang dirancangkan.

- c) Sumber kewangan untuk kajian ini adalah terhad. Harga wafer, target titanium adalah mahal. Oleh itu amaun bahan yang digunakan adalah terhad.

1.4) Organisasi penyelidikan

Pengorganisasian penyelidikan merupakan satu langkah yang amat penting untuk melengkapkan kajian dengan sempurna. Ia membantu untuk pengurusan kajian dari segi penjadualan makmal dan juga pencirian-pencirian yang hendak dibuat untuk mencapai objektif kajian. Secara keseluruhannya ia amat berkesan untuk pengurusan masa yang sistematik bagi menjalankan kajian ini dalam masa yang ditetapkan, memandangkan kajian ini hanya diberi masa tiga bulan sahaja. Berikut adalah turutan pengorganisasian penyelidikan yang dijalankan.

- i. Kertas cadangan: Ia dibuat sebelum kajian dijalankan. Bahagian ini merangkumi pernyataan masalah, kajian pensuratan, teori yang berkaitan dengan kajian dan tatacara kajian yang harus dilaksanakan.
- ii. Pelaksanaan kajian: Pelaksanaan kajian telah dirumuskan seperti di dalam Rajah 1.1.
- iii. Penulisan desertasi: Ia dimulakan semasa dan selepas kajian dijalankan. Berikut adalah isikandungan utama desertasi secara umum:
 - (a) Bab 1: Pengenalan

Menerangkan secara umum mengenai perkembangan industri semikonduktor dan menggunakan atau aplikasi silisida dalam industri tersebut. Seterusnya objektif-objektif kajian dinyatakan dengan jelas supaya kajian yang dijalankan akan memberi keputusan yang dikehendaki dan tidak lari dari skop yang ditetapkan. Akhir sekali keterangan mengenai pengorganisasian penyelidikan dinyatakan.

(b) Bab 2: Kajian pensuratan

Maklumat-maklumat dan pengetahuan yang diperlukan untuk menjalankan kajian diperolehi daripada membaca pelbagai sumber seperti jurnal, buku dan internet. Selepas itu kesemua maklumat dan fakta yang berkaitan mengenai kajian dinyatakan dalam bahagian ini. Dalam bahagian sifat-sifat silisida yang umum, aplikasinya secara terperinci dalam semikonduktor, kaedah-kaedah pembentukan silisida, perubahan fasa titanium silisida semasa pembentukannya di bawah suhu sepuhlindapan, kesannya terhadap rintangan kepingan, saiz butiran dan pelbagai aspek dibincangkan berdasarkan teori dan juga kajian yang telah dijalankan oleh orang telah dibincangkan.

(c) Bab 3: Tatacara eksperimen

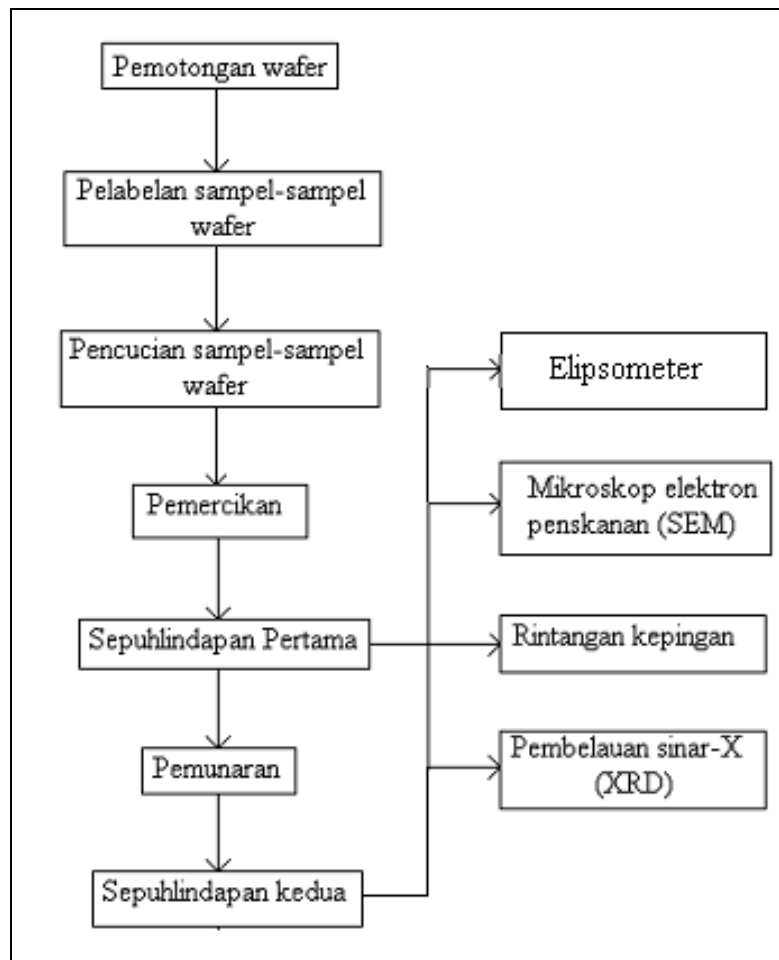
Kesemua langkah eksperimen yang telah digunakan dalam kajian ini dinyatakan mengikut turutan eksperimen. Langkah-langkah yang terlibat dalam kaedah penyediaan sampel, pembersihan wafer, kaedah pemercikan magnetron, pengukuran ketebalan, rintangan kepingan dan pemerhatian mikrostruktur lapisan titanium silisida yang terbentuk diterangkan dalam bahagian ini.

(d) Bab 4: Keputusan dan perbincangan

Kesan peningkatan suhu terhadap ketebalan, rintangan kepingan, mikrostruktur dan perubahan fasa titanium silisida dianalisa dan hubungan di antaranya dibincangkan.

(e) Bab 5: Kesimpulan dan cadangan

Kesimpulan dibuat berdasarkan objektif kajian yang dinyatakan. Masalah-masalah yang dihadapi dalam kajian ini dan cara-cara mengatasinya dicadangkan supaya keputusan lebih baik diperolehi jika kajian ini diulangi pada masa depan.



Rajah 1.2: Turutan langkah-langkah eksperimen dalam kajian.

BAB 2

KAJIAN PENSURATAN

2.1) Pengenalan kepada silisida

Silisida adalah gabungan silikon dengan elemen-elemen atau unsur-unsur lain di dalam jadual berkala. Ia meliputi kesemua gabungan kelas-kelas dan ia diilustrasikan dalam satu jadual kala yang khas yang dikenali sebagai jadual berkala silisida rujuk Rajah 2.1, daripada gabungan-gabungan ini, silisida-silisida dwi-oksigen (SiO_2), biasanya dikenali sebagai silikon dioksida, yang mana membentuk komponen major bumi dan ia adalah bahan kunci yang bertanggungjawab bagi kejayaan litar-litar bersepadu silikon [Murarka, 1994]. Gabungan-gabungan silikon dengan hidrogen, karbon, nitrogen, dan halogen-halogen juga memainkan peranan yang penting dalam litar bersepadu silikon. SiC, biasanya dikenali sebagai silikon karbida, adalah berpotensi untuk aplikasi-aplikasi semikonduktor bersuhu tinggi di mana peranti-peranti berasaskan silikon boleh gagal.

Selain daripada kumpulan atau jenis-jenis silisida yang dikatakan di atas terdapat lagi satu kumpulan silisida yang agak penting iaitu silisida logam peralihan. Kumpulan silisida ini mula mendapat perhatian daripada pertengahan abad yang ke-20. Banyak daripada kajian yang dijalankan dalam tahun 1950an telah cuba untuk menghasilkan silisida logam peralihan ini menggunakan teknik metalurgi serbuk [Murarka, 1994]. Kajian-kajian yang telah dijalankan adalah tertumpu kepada inisiatif untuk mengetahui sifat-sifat asas silisida-silisida ini seperti kerintangan elektrik, kestabilan pada suhu tinggi, kimia hablur silisida dan juga rintangan terhadap kakisan. Sebahagian silisida yang dikaji telah didapati

menunjukkan takat lebur yang tinggi. Ini membolehkan silisida-silisida ini mula dijadikan sebagai alternatif untuk digunakan sebagai elemen pemanas serta bahan salutan untuk aplikasi suhu tinggi [Murarka, 1994].

Silisida-silisida logam peralihan secara umumnya memiliki konduktiviti elektrik yang baik sama seperti bahan logam serta aloi logam. Kemungkinan penggunaan silisida-silisida sebagai konduktor-konduktor dalam litar-litar bersepadu silikon menjana dan merencanakan lagi kajian filem nipis silisida ini bermula pada tahun 1960an sehinggalah kini. Aplikasi-aplikasi untuk silisida-silisida ini adalah ditumpukan kepada penggunaannya sebagai (a) Sawar Schottky dan sentuhan ohmik, (b) get dan logam penyambung, dan (c) konduktor apitaksi dalam heterostruktur [Murarka, 1994]. Selain mengukur ketinggian sawar Schottky, rintangan sentuhan dan kerintangan, kajian terhadap pembentukan antara logam (*intermetallic formation*) dalam sistem-sistem logam-silikon, kinetik tindak balas dan kinetik penyerapan (*interdiffusion kinetic*), kestabilan pada pemprosesan litar-litar bersepadu silikon dan suhu-suhu operasi, kestabilan mekanikal, pengoksidaan dan pencirian punaran dan pembentukan apitaksi pada silikon telah dijalankan dalam tiga dekad yang lalu [Murarka, 1994]. Jadual 2.1 menyenaraikan ciri-ciri istimewa silisida untuk digunakan dalam litar-litar bersepadu silikon. Jadual 2.2 pula menyenaraikan jenis-jenis silisida kaya silikon yang diminati untuk diintegrasikan dalam litar-litar bersepadu silikon. Suhu peleburan dan kerintangan bagi setiap silisida turut dinyatakan. Kerintangan yang rendah merujuk kepada ketulenan yang tinggi dan silisida berhablur, manakala bacaan kerintangan yang tinggi pula adalah nilai yang diperolehi untuk lapisan silisida yang ditumbuhkan semasa proses fabrikasi peranti. Nilai kerintangan yang tinggi adalah

disebabkan oleh sempadan butiran, kecacatan dan bendasing yang terperangkap semasa proses fabrikasi. Perhatikan bahawa dalam semua kes, silisida-silisida kaya silikon dipertimbangkan disebabkan kestabilan metalurginya semasa ia bersentuhan dengan silikon dan secara semulajadi memberikan kerintangan yang rendah. Hanya PdSi dikecualikan disebabkan ketidakstabilannya pada suhu tinggi. Silisida-silisida bersifat semikonduktor seperti Mn, Cr, dan Fe tidak dinyatakan dalam jadual ini [Murarka, 1994].

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII		IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIA	0													
H ₄ Si																													
Li ₁₅ Si ₄ Li ₂ Si																													
NaSi		Mg ₂ Si		TiSi ₃ Ti ₆ Si ₃ TiSi TiSi ₂				V ₃ Si V ₆ Si ₃ VSi ₂		Cr ₃ Si Cr ₆ Si ₃ CrSi CrSi ₂		Mn ₃ Si Mn ₆ Si ₃ MnSi MnSi ₂		Fe ₃ Si Fe ₆ Si ₃ FeSi FeSi ₂		Co ₃ Si Co ₆ Si ₃ CoSi CoSi ₂		Ni ₃ Si Ni ₆ Si ₃ Ni ₂ Si ₂ NiSi NiSi ₂		B ₆ Si B ₄ Si B ₃ Si		CSi		N ₄ Si ₃		OSi O ₂ Si		F ₄ Si	
KSi KSi ₆		Ca ₂ Si CaSi CaSi ₂		Sc ₆ Si ₃ ScSi Sc ₂ Si ₃ Sc ₃ Si ₆		Zr ₄ Si Zr ₂ Si Zr ₃ Si ₂ Zr ₈ Si ₃ ZrSi ZrSi ₂		Nb ₄ Si Nb ₆ Si ₃ NbSi ₂		Mo ₃ Si Mo ₆ Si ₃ Mo ₂ Si ₂ MoSi ₂				Ru ₂ Si RuSi Ru ₂ Si ₃		Rh ₂ Si Rh ₆ Si ₃ Rh ₃ Si ₂ RhSi Rh ₂ Si ₃		Pd ₂ Si Pd ₂ Si PdSi		Cu ₃ Si				Ag ₂ Si AgSi		Se ₂ Si Br ₄ Si			
RbSi RbSi ₆		SrSi SrSi ₂		Y ₆ Si ₄ Y ₆ Si ₃ YSi YSi ₂		Hf ₂ Si Hf ₆ Si ₂ Hf ₃ Si ₂ HfSi HfSi ₂		Ta _{4,5} Si Ta ₇ Si Ta ₆ Si ₃ TaSi ₂		W ₃ Si W ₆ Si ₃ WSi ₂		Re ₃ Si Re ₆ Si ₃ ReSi ReSi ₂		OsSi OsSi ₂ OsSi ₃		Ir ₃ Si Ir ₂ Si Ir ₃ Si ₂ IrSi IrSi ₃		Pt ₂ Si Pt ₂ Si PtSi						Te ₂ Si TeSi		J ₄ Si			
CaSi CaSi ₃		BaSi BaSi ₂		La ₆ Si ₃ [*] LaSi LaSi ₂																									
				**																									
				* Ce ₂ Si Ce ₂ Si CeSi CeSi ₂		PrSi ₂		NdSi ₂		SmSi ₂		Gd ₂ Si ₆ GdSi ₂		Dy ₃ Si ₆ DySi ₂		Er ₃ Si ₆		YbSi _x		Lu ₂ Si ₆									
				** Th ₂ Si ₂ ThSi ThSi ₂		U ₃ Si ₂ USi U ₂ Si ₃ USi ₂ USi ₃		NpSi ₃		PuSi PuSi ₂																			

Rajah 2.1: Jadual berkala silisida [Murarka, 1994]

Jadual 2.1: Sifat-sifat silisida yang diinginkan untuk aplikasi litar bersepadu [Murarka, 1994].

Bilangan	Perkara
1	Kerintangan yang rendah.
2	Mudah dibentuk dan dihasilkan.
3	Mudah dipunar untuk generasi paten (<i>pattern generation</i> .)
4	Stabil dalam persekitaran pengoksidaan; Boleh dioksidakan.
5	Kestabilan mekanikal; Sifat pelekatan yang baik, tegasan permukaan yang rendah.
6	Kehalusan permukaan.
7	Stabil untuk semua peringkat pemprosesan. Ini termasuklah operasi pensinteran suhu tinggi, pengoksidaan basah atau kering, pemprosesan sebelah belakang (<i>back side damage</i> atau <i>gettering</i>), pelogaman dan sebagainya.
8	Tidak bertindak balas dengan lapisan oksida (SiO) dan logam yang digunakan untuk penyambungan (Contoh:Aluminium dan kuprum).
9	Tidak mencemarkan peranti, wafer ataupun peralatan dan radas pemprosesan.
10	Untuk ' <i>window contact</i> '; Penggunaan silikon yang rendah, rintangan sentuh yang rendah, penembusan simpangan yang minima

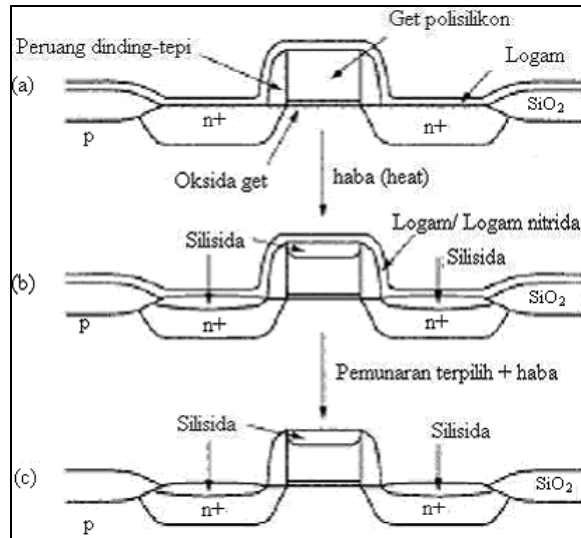
Jadual 2.2: Silisida-silisida kaya silikon yang stabil dan sifat-sifatnya [Murarka, 1994].

Silisida	Takat lebur (°C)	Kerintangan ($\mu\Omega\text{cm}$)
TiSi ₂	1540	13-16
VSi ₂	1670	50-60
CoSi ₂	1326	10-18
NiSi ₂	993	~50
ZrSi ₂	1650-1700	35-40
NbSi ₂	1950	50
MoSi ₂	1980	40-100
Pd ₂ Si	1398	30-35
HfSi ₂	1800	45-50
TaSi ₂	2200 \pm 100	35-55
WSi ₂	2165	30-70
PtSi ₂	1229	28-35

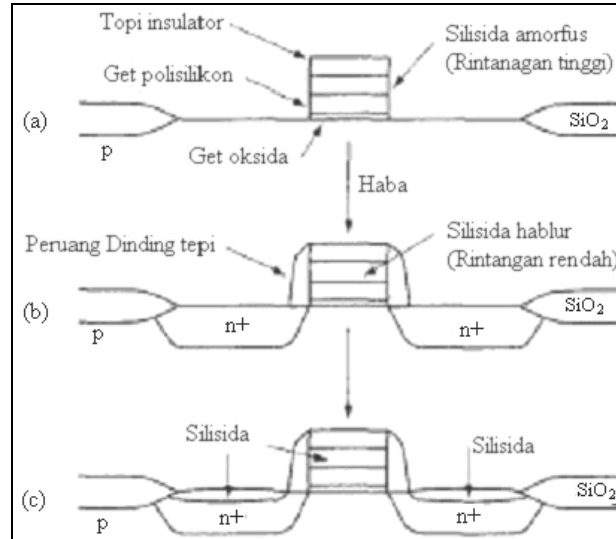
2.2) Proses-proses silisida

Kini, terdapat dua proses yang utama digunakan dalam industri semikonduktor iaitu polisida dan salisida. Proses polisida adalah pembentukan silisida pada get elektrod polisilikon manakala proses salisida adalah, proses penjajaran-diri lapisan silisida pada keseluruhan kawasan silikon yang terdedah. Skematik bagi turutan proses salisida ditunjukkan dalam Rajah 2.2. Bagi proses salisida get silikon polihablur dipaten dan ruang-ruang dinding-tepi dibentuk berasaskan kepada penendapan logam. Lapisan logam akan diendap dan bertindak dengan kawasan-kawasan silikon yang terdedah (get dan punca/saluran) untuk membentuk silisida. Silisida tidak akan terbentuk di atas kawasan-kawasan terasing. Pemunar yang tertentu digunakan untuk menjajar-dirikan silisida dan menyingkirkan produk-produk tindakbalas yang tidak diingini. Seringkali sepuhlindapan tambahan diperlukan untuk meminimumkan kerintangan sentuhan-sentuhan silisida.

Dalam proses polisida, silisida diendapkan pada get polisilikon dengan komposisi stokiometrik silisida yang diingini sebelum ia dipaten. Apabila get dipunar 'gate stack' polisida dibentuk. Seringkali bahan insulator dimasukkan sebagai lapisan atas bagi 'stack' bagi tujuan pengintegrasiaan. Sepuhlindapan pada suhu tinggi yang relatif diperlukan untuk menukarkan lapisan silisida amorfus kepada fasa polihablur yang rintangan yang rendah. Sebaik sahaja ruang-ruang dinding-tepi dibentuk, kadang-kala proses salisida digunakan untuk membentuk sentuhan-sentuhan silisida bagi kawasan-kawasan punca dan saluran. Turutan proses polisida digambarkan dalam Rajah 2.3. Jadual 1.1 pula meringkaskan ke semua parameter yang penting dalam proses pembentukan silisida [Mann,1995].



Rajah 2.2: Skematik bagi turutan proses salisida: (a) selepas pengendapan logam; (b) selepas sepuhlindapan pembentukan; (c) selepas penyingkiran logam dan logam nitrida berlebihan dengan punaran basah dan langkah sepuhlindapan transformasi [Mann, 1995].



Rajah 2.3: Skematik turutan proses polisida menunjukkan perubahan dalam tindanan get (*gate stack*): (a) selepas pembentukan struktur multi-lapisan; (b) selepas pembentukan peruang dan sepuhlindapan; (c) selepas pembentukan sentuhan punca-saluran. [Mann, 1995].

2.2.1) Silisida dalam aplikasi salisida

Secara umumnya terdapat pelbagai pilihan bahan bagi aplikasi-aplikasi salisida, tetapi apabila isu-isu berkaitan sifat-sifat bahan dan pengintergrasian seperti kestabilan terma, penjajaran diri, dan pemilihan pemunar dipertimbangkan bilangannya menjadi begitu kecil sekali. Dua bahan yang menjadi pilihan utama adalah CoSi_2 dan TiSi_2 . Kerintangan kedua-dua bahan tersebut adalah hampir sama dan ini menyebabkan kedua-dua bahan tersebut dipertimbangkan dalam proses pengintergrasiaan.

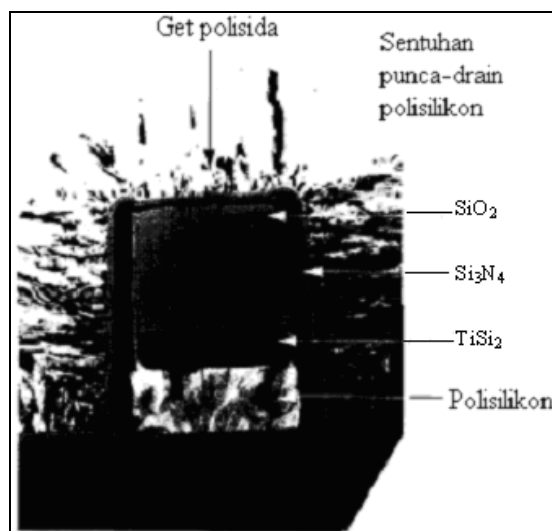
Titanium disilisida merupakan bahan yang paling biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi salisida kerana ia memiliki gabungan beberapa ciri-cirinya yang istimewa seperti kerintangan yang rendah, kebolehan dijajar-diri, dan kestabilan terma yang baik. Walaupun, titanium disilisida digunakan secara meluas dalam aplikasi salisida, tetapi kini kobalt disilisida turut mendapat perhatian yang baik. Ini adalah disebabkan kerintangan rendah bagi fasa CoSi_2 mudah dicapai daripada TiSi_2 .

2.2.2) Silisida bagi aplikasi polisida

Proses-proses polisida telah digunakan dalam banyak kes yang mana rintangan get konduktor yang kritikal. Penggunaan proses polisida kadang-kala adalah lebih memadai berbanding proses salisida untuk mencapai rintangan get yang rendah dan memansuhkan mekanisme kecacatan penititan. Rintangan get yang dipertingkatkan seringkali boleh

dicapai melalui proses polisida disebabkan silisida yang diendap tidak memusnahkan bilangan amaun silikon yang ternyata.

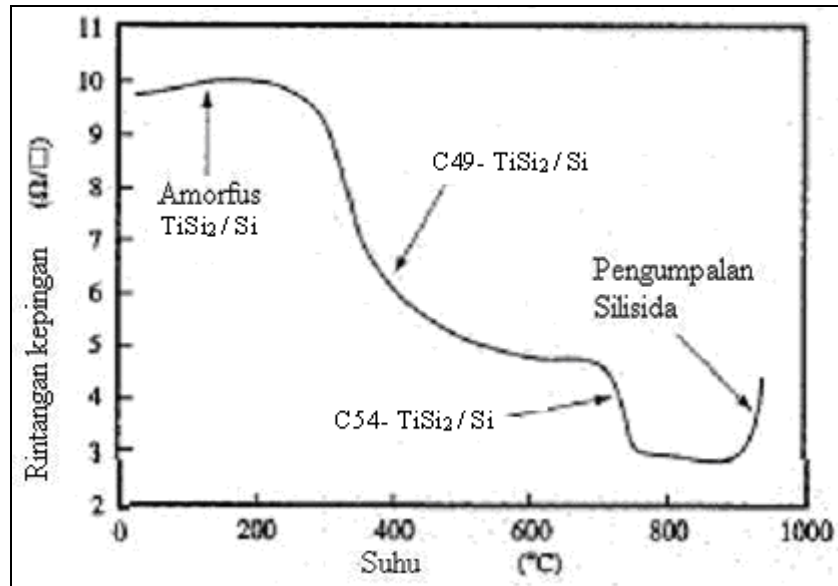
Bagi proses polisida (Rajah 2.3), silisida diendap pada komposisi stekiometriknya semasa tindanan get, selain daripada dibentuk daripada tindakbalas di antara logam tulen dan silikon seperti dalam proses salisida. Dalam proses polisida, filem silisida amorfus diikuti oleh endapan filem berinsulator di atas silikon polihablur yang didop (biasanya jenis-n) secara berat. Tindanan get akan dipunar dan kemudian dipanaskan untuk menukarkan konduktor get silisida amorfus kepada silisida berhablur dengan rintangan yang rendah. Selepas pengendapan ruang-ruangan dinding-tepi berinsulator (*insulating sidewall spacers*), bahagian punca dan saluran mungkin disalisida seperti yang dibincangkan sebelum ini. Keratan rentas tindanan get yang dipunar di bawah TEM ditunjukkan dalam Rajah 2.4. Pada mikrograf, TiSi₂ adalah dengan ketebalan 100 nm. Lapisan silisida adalah di antara lapisan oksida yang tebal dan lapisan polisilikon.



Rajah 2.4: Mikrograf keratan rentas TEM bagi tindanan get polisida yang dipunar [Mann, 1995].

Silisida yang digunakan dalam aplikasi polisida haruslah berintangan rendah dan stabil secara terma; pilihannya adalah termasuk TiSi_2 , WSi_2 , TaSi_2 , dan MoSi_2 . C54-TiSi_2 mempunyai kerintangan yang rendah daripada silisida refraktori yang lain, tetapi ia juga adalah lebih peka terhadap pengumpulan semasa kitar-kitar pemanasan suhu tinggi. Pilihan silisida bagi aplikasi polisida biasanya ditentukan oleh parameter-parameter rekabentuk dan kekompleksan proses.

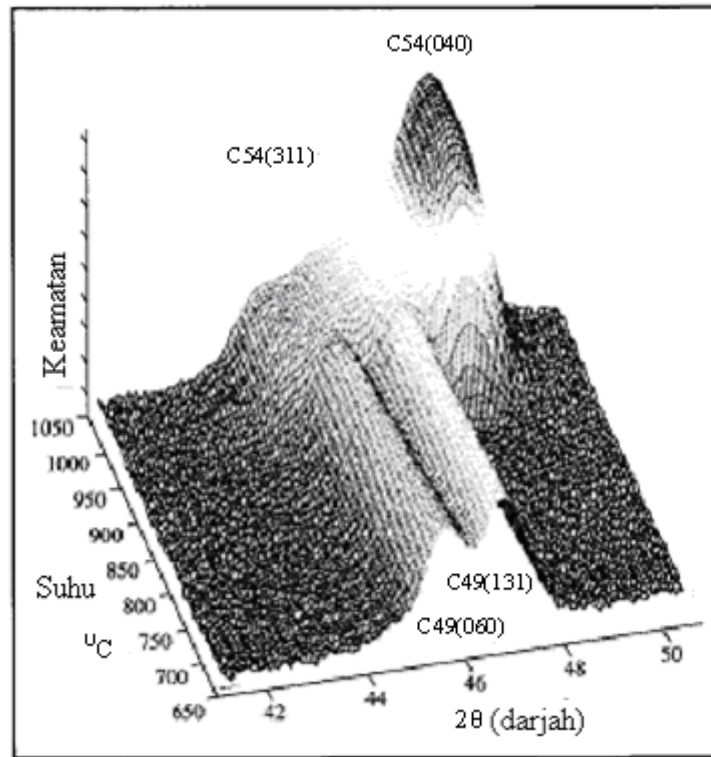
Perubahan rintangan yang terjadi dalam pembentukan filem C54-TiSi_2 dalam proses polisida adalah seperti dalam Rajah 2.5. Dalam rajah ini, rintangan asal melawan suhu pada kadar pemanasan $50\text{ }^\circ\text{C/s}$ diplotkan bagi penghabluran filem TiSi_2 amorfus berketebalan 100-nm. Bagi filem ini, penurunan yang drastik dalam rintangan terjadi pada $400\text{ }^\circ\text{C}$, bersamaan dengan penghabluran filem amorfus kepada C49-TiSi_2 . Dengan pemanasan yang lanjutan, rintangan polisida turun sedikit sehingga $800\text{ }^\circ\text{C}$, di mana terdapat penurunan yang tajam dalam rintangan filem. Penurunan yang tajam adalah berdasarkan kepada transformasi fasa C49-TiSi_2 yang berintangan tinggi kepada fasa C54-TiSi_2 yang berintangan rendah ($15\text{-}20\text{ }\mu\Omega\text{-cm}$) seperti yang dikehendaki. Dengan pemanasan yang berlanjutan kepada $900\text{ }^\circ\text{C}$, rintangan filem bertambah secara ketara disebabkan oleh pengumpulan. Pengumpulan suhu tinggi ini merupakan salah satu daripada faktor-faktor major yang menghadkan penggunaan TiSi_2 dalam aplikasi-aplikasi polisida.



Rajah 2.5: Rintangan kepingan asal melawan suhu bagi kadar pemanasan 50 °C/s bagi pengabluran filem TiSi₂ amorfus berketebalan 100-nm [Mann, 1995].

Peningkatan suhu dalam transformasi C49 kepada C54 adalah berdasarkan pempatan secara geometrik yang diberi tumpuan dalam pemprosesan silisida juga terjadi dalam struktur-struktur TiSi₂ sub-mikron polisida. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5, bagi filem-filem polisida yang tidak-dipaten, boleh meneliti transformasi C49 kepada C54 semasa sepuhlindap RTP dengan gunakan pengukuran rintangan. Walaubagaimanapun, bagi struktur-struktur polisida sub-mikron, pengukuran rintangan asalnya tidak boleh digunakan untuk meneliti transformasi ini semasa sepuhlindapan, disebabkan kesukaran untuk membuat dan meneruskan sentuhan elektrik pada filem-filem polisida sub-mikron pada suhu tinggi. Lagi satu pendekatan untuk meneliti transformasi C49 kepada C54 semasa sepuhlindapan dalam struktur-struktur polisida sub-mikron adalah pemeriksaan pembelauan spektrum X-ray bagi 'chip' yang mempunyai jalur-jalur polisida submikron semasa pemanasan. Ini dipenuhi dengan menggunakan punca X-ray 'synchrotron' untuk

menghasilkan fluk X-ray yang besar dan pengesan tempat-sensitif (*position-sensitive detector*) untuk mengukur paten-paten pembelauan dengan resolusi masa mili-saat. Rajah 2.6 menunjukkan contoh analisis seperti ini bagi 'test chip' dengan



Rajah 2.6: Turutan pembelauan X-ray asal bagi sampel yang dipaten dengan kelebaran 0.4 μm jalur-jalur polisida. Sampel dipanaskan pada 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ daripada 600 ke 1050 $^{\circ}\text{C}$ [Mann, 1995].

lebar-0.4- μm dan tebal-100-nm jalur-jalur TiSi_2 get polisida. Dalam rajah ini, keamatan pembelauan (paksi-z) diplot melawan sudut pembelauan 2θ (paksi-x) dan suhu (paksi-y). Ini adalah bukti bahawa, hanya fasa titanium silisida yang hadir dalam struktur-struktur polisida sub-mikron adalah C49-TiSi_2 pada suhu rendah dan fasa C54-TiSi_2 pada suhu tinggi. Suhu bagi transformasi C49 kepada C54 adalah lebih baik ditentukan dengan