

**KESAN RAWATAN KRIOGENIK TERHADAP STRUKTUR
ANTARAMUKA NI/SI DALAM PERANTI SILIKON
SEBAGAI PENGESAN FOTO**

MOHD ZAKI BIN MOHD YUSOFF

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2008

**KESAN RAWATAN KRIOGENIK TERHADAP STRUKTUR
ANTARAMUKA NI/SI DALAM PERANTI SILIKON
SEBAGAI PENGESAN FOTO**

oleh

MOHD ZAKI BIN MOHD YUSOFF

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

Januari 2008

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya bersyukur ke hadrat Illahi di atas limpah rahmatnya tesis saya ini dapat disiapkan dengan jayanya. Pertama sekali saya ucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia utama saya, Prof. Madya Dr. Md Roslan Hashim yang telah menjalankan tanggungjawabnya dengan baik dan berkesan dalam membimbing saya dalam penyelidikan ini serta penawaran jawatan sebagai penolong penyelidik dan penyelidik sambilan selama hampir satu tahun. Saya juga ingin mengucapkan penghargaan kepada Pusat Pengajian Sains Fizik, Institut Pengajian Siswazah (IPS), USM di atas penawaran biasiswa Skim Pembantu Siswazah selama hampir dua sidang pengajian. Di samping itu ucapan terima kasih saya berikan kepada Azlan Baharin yang banyak memberi tunjuk ajar, bantuan, dorongan dan semangat kepada saya. Ucapan terima kasih juga diucapkan kepada Norzaini Zainal yang banyak menolong saya dalam mempelajari program simulasi SILVACO. Tidak lupa juga kepada Syahrilamin Hashim yang banyak membantu saya semasa penyediaan tesis ini.

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada para pembantu makmal di makmal keadaan pepejal dan makmal NOR iaitu En. Mokhtar Sabdin, Puan Ee Bee Choo, En, Abdul Muthalib Sh. Usman, En. Hilmi, En. Hazhar, dan En. Mohd Jamil Kassim. Tidak lupa juga kepada semua putera-puteri makmal NOR (Firdaus, Haslinda, Chuah, Mazlinda, Siti Hidayu, Siti Azlina, Dr. Yam dan lain-lain lagi) yang sedikit banyak menolong saya di dalam menyiapkan penyelidikan dan tesis ini. Akhir sekali, saya ucapkan penghargaan dan terima kasih kepada kedua ibu bapa saya, Mohd Yusoff Abd Hamid dan Kamariah Hj Mamat serta abang saya, Muhammad Redzuan, Mohd Roslan dan adik saya, Nor Fadhillah, Siti Zubaidah dan Roswati yang banyak memberikan sokongan dan dorongan sepanjang pengajian saya. Terima kasih kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam penyediaan tesis ini.

SUSUNAN KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI LAMBANG	xi
SENARAI SINGKATAN	xiii
SENARAI LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB SATU : PENGENALAN DAN KAJIAN LATARBELAKANG	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Latarbelakang pengesanan foto MSM silikon	2
1.3 Latarbelakang rawatan kriogenik	5
1.3.1 Pemprosesan kriogenik	5
1.3.2 Rawatan suhu kriogenik	8
1.4 Objektif penyelidikan	10
1.5 Susunan tesis	10
BAB DUA : TEORI	
2.1 Pengenalan	12
2.2 Pengesanan foto logam-semikonduktor-logam (MSM)	12
2.3 Sentuhan logam-semikonduktor	17
2.4 Nikel silicida	20
2.5 Pembersihan RCA, SPM dan HF	22
2.6 Rumusan	24

BAB TIGA : METODOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	25
3.2	Penyejatan vakum	25
3.3	Relau sepuh lindap	26
3.4	Mikroskop daya atom (AFM)	26
3.5	Spektroskopi jelmaan fourier infra merah (FTIR)	28
3.6	Spektroskopi Raman	30
3.7	Spektroskopi foto luminensens (PL)	32
3.8	Belauan sinar-x (XRD)	33
3.9	Penyediaan sampel	35
3.10	Rawatan pembersihan RCA	35
3.11	Rawatan pembersihan SPM	36
3.12	Rawatan pembersihan HF	37
3.13	Rawatan suhu kriogenik menggunakan cecair nitrogen	38
3.14	Proses pelogaman	39
3.15	Proses sepuh lindapan	41
3.16	Pengujian arus-voltan (I-V)	42
3.17	Formula pencirian elektrik pengesan foto MSM	44
3.18	Formula pencirian elektrik diod Schottky	46
3.19	Proses simulasi peranti pengesan foto MSM silikon	47
3.20	Simulator peranti menggunakan ATLAS	47
3.21	Rumusan	50

BAB 4 : KESAN PEMBERSIHAN RCA, SPM DAN HF TERHADAP SILIKON UNTUK APLIKASI PENGESAN FOTO

4.1	Pengenalan	51
4.2	Pencirian AFM untuk RCA, SPM dan HF	51
4.3	Pencirian I-V pengesan foto untuk RCA, SPM dan HF	54
4.4	Simulasi I-V pengesan foto untuk kekasaran permukaan yang berlainan	57
4.5	Gandaan arus pengesan foto untuk RCA, SPM dan HF	61

4.6	Nilai ketinggian sawar Schottky (SBH) dan faktor idealiti (n) pengesan foto untuk RCA, SPM dan HF	62
4.7	Rumusan	66

BAB 5 : KESAN RAWATAN SUHU KRIOGENIK TERHADAP SILIKON UNTUK APLIKASI PENGESAN FOTO

5.1	Pengenalan	67
5.2	Pencirian AFM untuk kombinasi rawatan	67
5.3	Pencirian I-V pengesan foto untuk kombinasi rawatan	69
5.4	Gandaan arus pengesan foto untuk kombinasi rawatan	72
5.5	Nilai ketinggian sawar Schottky (SBH) dan faktor idealiti (n) pengesan foto untuk kombinasi rawatan	73
5.6	Kombinasi RCA dan rawatan suhu pada masa yang berlainan	77
5.7	Pencirian spektroskopi Raman untuk kombinasi RCA dan rawatan suhu	79
5.8	Pencirian PL untuk kombinasi RCA dan rawatan suhu	80
5.9	Pencirian spektroskopi FTIR untuk kombinasi RCA dan rawatan suhu	82
5.10	Pencirian XRD untuk kombinasi RCA dan rawatan suhu	83
5.11	Pencirian I-V untuk pengesan foto dengan masa rawatan berlainan	84
5.12	Gandaan arus pengesan foto dengan masa rawatan berlainan	86
5.13	Nilai ketinggian sawar Schottky (SBH) dan faktor idealiti (n) pengesan foto dengan masa rawatan berlainan	87
5.14	Rumusan	90

BAB 6 : KESIMPULAN DAN CADANGAN UNTUK PENYELIDIKAN MASA DEPAN

6.1	Kesimpulan	91
6.2	Cadangan untuk penyelidikan masa depan	93

SENARAI RUJUKAN	95
LAMPIRAN	
Lampiran A : Sifat-sifat bahan semikonduktor silikon	101
Lampiran B : Pengesan foto simpangan PN atau PIN	106
Lampiran C : Pengesan foto Avalanche	108
Lampiran D : Pengesan foto Schottky	109
Lampiran E : Program simulasi SILVACO ATLAS	110
Lampiran F : Alat-alat fabrikasi dan pencirian pengesan foto MSM silikon	111
Lampiran G: Contoh pengiraan keputusan rawatan RCA seperti yang tercatat dalam Jadual 4.1 dan Jadual 5.1	112
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	115

SENARAI JADUAL

	Muka surat
2.1 Ketinggian sawar untuk sistem Ni-Si (Coe, 1974).	22
2.2 Bahan kimia yang digunakan untuk pembersihan silikon (Kern, 1993).	23
4.1 Ringkasan ciri-ciri arus gelap dan arus foto, faktor idealiti dan ketinggian sawar bagi sampel yang dirawat dengan rawatan pembersihan.	63
5.1 Ringkasan ciri-ciri arus gelap dan arus foto, faktor idealiti dan ketinggian sawar Schottky bagi sampel kombinasi rawatan pembersihan berlainan.	74
5.2 Ringkasan ciri-ciri arus gelap dan arus foto, faktor idealiti dan nilai ketinggian sawar Schottky bagi sampel yang disejukkan pada masa rawatan yang berlainan.	87

SENARAI RAJAH

	Muka surat	
1.1	Pembangunan peralatan untuk pelogaman pada suhu rendah dan suhu tinggi (Shi et al, 1992).	6
2.1	Contoh GaAs MSM-FET bersepadu, menunjukkan kesesuaian peranti dan MSM bersepadu mudah dilakukan.	13
2.2	Struktur MSM yang digunakan di dalam projek ini.	14
2.3	Pasangan elektron-lohong dihasilkan pada jurang antara dua sentuhan logam (sentuhan Schottky) yang kemudiannya diasingkan oleh medan elektrik dalam kawasan kesusutan pada dua sentuhan Schottky (Shur, 1996).	15
2.4	Jalur tenaga bagi pengesan foto MSM apabila voltan pincangan dibekalkan. Rajah kecil menunjukkan kesan penurunan daya imej (<i>image force</i>). Kesan yang sama berlaku untuk sentuhan yang lain (Bhattacharya, 1997).	16
2.5 (a)	Sawar Schottky dibentuk dengan menghubungkan semikonduktor jenis n dengan logam yang memiliki fungsi kerja besar : a) rajah jalur untuk logam dan semikonduktor sebelum dihubung (Streetman & Banerjee, 2000).	18
2.5 (b)	Sawar Schottky dibentuk dengan menghubungkan semikonduktor jenis n dengan logam yang memiliki fungsi kerja besar : b) rajah jalur keseimbangan untuk simpangan (Streetman & Banerjee, 2000).	18
2.6 (a)	Sentuhan Ohmik logam-semikonduktor untuk semikonduktor jenis n ($\Phi_m < \Phi_s$) (Streetman & Banerjee, 2000).	20
2.6 (b)	Rajah jalur keseimbangan untuk simpangan ini (Streetman & Banerjee, 2000).	20
3.1	Fiber interferometer untuk AFM.	27
3.2	Skematik interferometer Michelson.	30
3.3	Paras-paras tenaga yang terlibat di dalam proses Raman yang berlaku. (Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Raman_spectroscopy).	32
3.4	Bekas yang digunakan untuk menyimpan dan merendam sampel ke dalam cecair nitrogen. Jam randik digunakan untuk merekodkan masa rawatan.	38
3.5	Topeng logam yang digunakan untuk menghasilkan peranti pengesan foto MSM silikon.	39

3.6	Peranti pengesan foto MSM.	40
3.7	Carta alir untuk proses fabrikasi yang digunakan dalam kajian ini.	43
3.8	Pembentukan mesh yang digunakan untuk model pengesan foto MSM silikon.	48
3.9	Carta alir untuk proses simulasi ATLAS (masukan data dan keluaran data).	49
4.1	Imej permukaan silikon jenis-n oleh AFM untuk ketiga-tiga jenis rawatan pembersihan yang berbeza-beza.	52
4.2	Arus gelap dan arus foto untuk ketiga-tiga rawatan pembersihan yang digunakan dan Si Kawalan sebagai perbandingan.	55
4.3	Nilai simulasi arus gelap untuk dua nilai halaju gabungan semula permukaan (SRV) yang berbeza-beza.	58
4.4	Gandaan (Foto/Gelap) untuk tiga jenis teknik pembersihan yang berlainan dan Si Kawalan sebagai perbandingan.	62
4.5	Faktor idealiti pengesan foto MSM silikon jenis n (100) yang menerima rawatan pembersihan yang berlainan.	63
4.6	Nilai ketinggian sawar Schottky untuk arus gelap dan arus foto pengesan foto MSM silikon jenis n (100) yang menerima rawatan pembersihan yang berlainan.	65
5.1	Imej permukaan silikon jenis n oleh AFM untuk tiga jenis teknik pembersihan yang berlainan bersama-sama dengan rawatan suhu kriogenik selama 30 minit.	68
5.2	Arus gelap dan arus foto untuk peranti yang menerima rawatan RCA dan kombinasi rawatan RCA+ rawatan suhu selama 30 minit.	70
5.3	Arus gelap dan arus foto untuk peranti yang menerima rawatan SPM dan kombinasi rawatan SPM + rawatan suhu selama 30 minit.	70
5.4	Arus gelap dan arus foto untuk peranti yang menerima rawatan HF dan gabungan rawatan HF + rawatan suhu selama 30 minit.	71
5.5	Gandaan (Foto/Gelap) untuk tiga jenis teknik pembersihan yang berlainan dan kombinasi rawatan pembersihan + rawatan suhu kriogenik selama 30 minit.	73
5.6	Faktor idealiti pengesan foto MSM silikon jenis n (100) untuk kombinasi rawatan suhu yang berlainan.	75

5.7	Ketinggian sawar Schottky untuk arus gelap dan arus foto pengesan foto MSM silikon jenis n (100) untuk kombinasi rawatan yang berlainan.	76
5.8	Imej permukaan silikon jenis-n oleh AFM untuk masa rawatan yang berlainan b) 15 minit c) 30 minit d) 45 minit dan e) 60 minit. Imej untuk sampel yang tiada rawatan a) Kawalan juga disertakan untuk perbandingan.	78
5.9	Perubahan Raman silikon (100) jenis n untuk sampel yang dirawat dengan rawatan suhu kriogenik dan sampel yang tiada rawatan.	79
5.10 (a)	Spektrum PL di dalam julat panjang gelombang 300-1000 nm untuk silikon (100) jenis n untuk sampel yang dirawat dan sampel kawalan.	80
5.10 (b)	Spektrum PL di dalam julat panjang gelombang 580-680 nm untuk silikon (100) jenis n untuk sampel yang dirawat dan sampel kawalan.	81
5.10 (c)	Spektrum PL di dalam julat panjang gelombang 800-850 nm untuk silikon (100) jenis n untuk sampel yang dirawat dan sampel kawalan.	81
5.11	Spektra FTIR silikon (100) jenis n untuk sampel yang dirawat dengan rawatan suhu kriogenik dan sampel yang tiada rawatan.	83
5.12	Corak belaun sinar-x silikon (100) jenis n untuk sampel kombinasi rawatan RCA dengan suhu kriogenik dan sampel rawatan RCA sahaja.	84
5.13	Arus gelap dan arus foto untuk pengesan foto MSM silikon jenis n dengan masa rawatan suhu kriogenik yang berlainan (15-60 minit), diikuti dengan sepuh lindap pada suhu 400 ⁰ C selama 10 minit.	85
5.14	Gandaan (Foto/Gelap) untuk pengesan foto MSM silikon jenis n dengan masa rawatan suhu kriogenik yang berlainan (15-60 minit), diikuti dengan sepuh lindapan pada suhu 400 ⁰ C selama 10 minit.	86
5.15	Ketinggian sawar Schottky untuk arus gelap dan arus foto pengesan foto MSM silikon jenis n (100) yang menerima rawatan suhu pada masa rawatan yang berlainan.	88
5.16	Faktor idealiti pengesan foto MSM silikon jenis n (100) yang menerima rawatan suhu pada masa rawatan yang berlainan.	88

SENARAI LAMBANG

A^{**}	Pemalar Ricardson
A_n^{**}	Pemalar Richardson untuk elektron
A_p^{**}	Pemalar Richardson untuk lohong
D	Pengesanan
d	Ruang antara atom dalam unit angstrom
E_g	Jurang tenaga
E_c, E_C	Jalur konduksi
E_v, E_V	Jalur valens
E_F, \mathcal{E}_{fm}	Paras Fermi
I	Arus
I_0	Arus tepu
J, J	Jumlah ketumpatan arus
K	Pemalar
k_B	Pemalar Boltzmann
n	Kepekatan elektron
n	Integer
n, n	Faktor idealiti
n_i	Nilai kepekatan pembawa intrinsik
p	Kepekatan lohong
q	Magnitud untuk cas elektronik
S	Kawasan sentuhan
T	Suhu mutlak
t	Saiz hablur
V	Voltan pincangan
V_0	Keupayaan sentuhan keseimbangan
W	Rantau kesusutan

β	Lebar penuh pada separuh maksimum (FWHM)
θ	Sudut belauan dalam unit darjah
χ	Afiniti elektron
λ	Panjang gelombang
Φ_b, Φ_B	Ketinggian sawar Schottky
Φ_{bn}	Ketinggian sawar untuk elektron
Φ_{bp}	Ketinggian sawar untuk lohong
Φ_m	Fungsi kerja logam
Φ_s	Fungsi kerja semikonduktor

SENARAI SINGKATAN

AFM	Mikroskop daya atom
CCD	Pengesan kamera tersejuk
C-V	Kapasitan-voltan
D	Pembelah alur cahaya
FTIR	Jelmaan Fourier infra merah
FET	Transistor kesan medan
HF	Hidro flourik
IR	Infra merah
I-V	Arus-Voltan
KOH	Kalium hidroksida
MIS	Logam-penebat-semikonduktor
MSM	Logam-semikonduktor-logam
NEP	Hingar kuasa se-erti
Ni	Nikel
ODE	Punaran bergantung orientasi
OEIC	Litar bersepadu optoelektronik
PL	Foto luminensens
RCA	Radio corporation of America
RTP	Pemprosesan terma deras
SBH	Ketinggian sawar Schottky
SOI	Si-atas-penebat
SPM	Campuran sulfurik per oksida
TEM	Mikroskop tranmisi elektron
UV	Ultra ungu
VLSI	Litar bersepadu sangat besar
XRD	Belauan sinar-x

SENARAI LAMPIRAN

	Muka surat
Lampiran A : Sifat-sifat bahan semikonduktor silikon	101
Lampiran B : Pengesan foto simpangan PN atau PIN	106
Lampiran C : Pengesan foto Avalanche	108
Lampiran D : Pengesan foto Schottky	109
Lampiran E : Program simulasi SILVACO ATLAS	110
Lampiran F : Alat-alat fabrikasi dan pencirian pengesan foto MSM silikon	111
Lampiran G: Contoh pengiraan keputusan rawatan RCA seperti yang tercatat dalam Jadual 4.1 dan Jadual 5.1	112

KESAN RAWATAN KRIOGENIK TERHADAP STRUKTUR ANTARAMUKA Ni/Si DALAM PERANTI SILIKON SEBAGAI PENGESAN FOTO

ABSTRAK

Projek ini mengkaji kesan rawatan kriogenik terhadap struktur antaramuka Ni/Si dalam silikon sebagai pengesan foto. Terdapat dua bahagian penting di dalam kajian ini. Bahagian pertama adalah kajian kesan rawatan pembersihan yang berlainan iaitu kaedah *Radio Corporation of America* (RCA), *Sulfuric Peroxide Mixture* (SPM) dan *Hydrofluoric* (HF) terhadap struktur antaramuka Ni/Si. Pengukuran AFM untuk setiap sampel menunjukkan rawatan SPM menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi berbanding dengan rawatan lain. Kesemua sampel tersebut difabrikasikan menjadi pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM). Pengujian arus-voltan (I-V) mendapati peranti rawatan RCA memiliki arus gelap yang paling rendah berbanding dengan rawatan lain. Adalah dipercayai bahawa lapisan oksida berperanan mengurangkan arus gelap peranti. Program simulasi SILVACO ATLAS menunjukkan nilai kekasaran permukaan yang tinggi mempunyai halaju gabungan semula permukaan (SRV) yang tinggi untuk menghasilkan arus yang rendah. Bahagian kedua adalah kajian kesan kombinasi pembersihan dan rawatan suhu kryogenik terhadap struktur antaramuka Ni/Si. Pengukuran AFM menunjukkan kombinasi rawatan pembersihan dengan rawatan suhu berjaya mengurangkan nilai kekasaran permukaan sampel. Kesemua sampel tersebut difabrikasikan menjadi pengesan foto MSM. Pengujian I-V menunjukkan arus gelap dan arus foto yang rendah bagi peranti sampel dengan kombinasi rawatan berbanding dengan peranti tanpa rawatan kombinasi. Pengukuran Raman, PL, FTIR dan XRD mendapati berlaku perubahan ke atas sifat-sifat optik sampel rawatan pembersihan dan suhu. Sampel dengan kaedah pembersihan RCA dan masa rawatan suhu kryogenik yang berlainan juga difabrikasikan menjadi pengesan foto dan didapati bahawa masa rawatan suhu kryogenik selama 30 minit menghasilkan arus gelap dan arus foto yang paling rendah berbanding dengan masa rawatan yang lain. Ini diterangkan oleh kualiti lapisan oksida yang seragam untuk bertindak mengurangkan pembawa elektron melalui lapisan antaramuka Ni/Si.

THE EFFECT OF CRYOGENIC TREATMENT ON Ni/Si INTERFACE IN SILICON DEVICE AS A PHOTODETECTOR

ABSTRACT

This project studied the effects of cryogenic treatment on Ni/Si interface in silicon device as a photodetector. This research consists of two main parts. The first part studies the effects of different cleaning treatments mainly, Radio Corporation of America (RCA) method, Sulfuric Peroxide Mixture (SPM) and Hydrofluoric (HF) for Ni/Si structural interface. The AFM measurement was used for each sample. It was found that the sample with the SPM treatment produced a higher surface roughness value compared to the other treatments. All of the samples were then fabricated to make the metal-semiconductor-metal (MSM) photodetector. The devices that received the RCA treatment had the lowest dark current value compared to the other device. It is believed that the oxide layer had reduced the dark current of the device. The SILVACO ATLAS simulation software showed that a higher surface roughness value had a higher surface recombination velocity value (SRV) to produce a low dark current. The second part of this project studied the combination effects of cleaning and cryogenic temperature treatment on Ni/Si interface. The AFM measurements showed that the combination of cleaning and temperature treatment successfully reduced the surface roughness value of the samples. All of the samples were then fabricated to make the MSM photodetector. The I-V measurement showed that the combined treatment produced a lower dark current compared to the sample without the combination treatment. The Raman, PL, FTIR and XRD measurements showed that there was a change in optical properties of cleaned and temperature treated samples. Samples with RCA cleaning and different time-lengths of cryogenic temperature treatment were also fabricated to make the MSM photodetector and it was found 30 minutes of cryogenic treatment produced a lower dark current and photo current compared to the other time-lengths. This can be explained by the uniformity of oxide layer quality that results in the reduction of the number of electron carrier that throughout the Ni/Si interface layers.

BAB 1

PENGENALAN DAN KAJIAN LATARBELAKANG

1.1 Pengenalan

Penyelidikan terhadap komponen fotonik berasaskan silikon untuk komunikasi fiber optik untuk panjang gelombang 1.3 dan 1.55- μm masih dijalankan dengan pesatnya. Para saintis dan penyelidik seluruh dunia sekarang berlumba-lumba menghasilkan komponen fotonik silikon pada skala dimensi yang lebih kecil berbanding dengan kajian terhadap mikroelektronik silikon. Litar bersepadu fotonik silikon merupakan perkara yang amat menarik perhatian para saintis dan penyelidik ketika ini. Motivasi kepada penghasilan litar bersepadu fotonik silikon adalah disebabkan oleh kejayaan di dalam bidang optoelektronik, iaitu pengabungan peranti optik dan elektronik di atas satu substrat yang sama. Cip yang dihasilkan dikenali sebagai litar bersepadu optoelektronik (OEIC).

Pada hari ini, bahan semikonduktor III-V seperti AlGaAs/GaAs dan InGaAs/InP telah mengatasi silikon di dalam penghasilan peranti OEIC. Walaubagaimanapun, peranti OEIC berasaskan silikon telah mengatasi bahan III-V dari sudut kos. Berjuta-juta dolar telah dilaburkan untuk industri litar bersepadu sangat besar (VLSI) silikon. Ini adalah disebabkan oleh silikon menawarkan kos fabrikasi yang jauh lebih murah berbanding dengan bahan III-V. Ini merupakan alasan kukuh bagi pemilihan silikon sebagai bahan kajian di dalam usaha untuk menghasilkan salah satu peranti OEIC, iaitu pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM).

1.2 Latar belakang pengesan foto MSM silikon

Pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM), merupakan pengesan foto yang unik, ianya pertama kali diperkenalkan dan dihasilkan oleh Sugeta et al., (1979). Pengesan foto MSM memiliki pencapaian dan keupayaan yang amat baik sebagai komponen berprestasi tinggi untuk sistem komunikasi gelombang cahaya berkelajuan tinggi dan ianya amat sesuai untuk litar bersepadu optoelektronik. Ini adalah disebabkan oleh nilai kapasitan per unit kawasan yang rendah. Pengesan foto MSM silikon menjadi semakin popular di dalam bidang komunikasi optik disebabkan oleh kelebihan yang tertentu (Sano, 1990., Soole & Schumacher, 1990). Salah satu ciri-ciri penting yang dimiliki oleh pengesan foto MSM ialah sambutan yang amat pantas, di mana ianya ditentukan oleh struktur geometri dan nilai kapasitan yang rendah. Pengesan ini telah mendapat pasaran yang amat luas disebabkan oleh lebar-jalur elektronik yang tinggi dan keupayaan peranti ini menghasilkan denyutan elektrik yang sangat pendek (Holzman et al., 2000).

Bahan silikon menjadi pilihan kepada pembinaan peranti pengesan foto MSM kerana menawarkan kos yang amat rendah berbanding dengan bahan semikonduktor yang lain. Peranti ini dapat disepadukan secara terus dengan teknologi litar optoelektronik VLSI dengan tahap kepekaan yang baik (Sayles & Uyemura, 1991). Aplikasi pengesan foto MSM silikon adalah kesinambungan kepada peningkatan penggunaannya di dalam pelbagai bidang sains seperti astronomi, perubatan, pengujian bahan dan sebagainya. Sebagai contoh, perkembangan pesat di dalam industri bioteknologi, memerlukan peranti pengesan foto yang dapat berfungsi pada julat UV dengan tahap sambutan yang tinggi. Pengesan foto MSM ini menjadi pilihan untuk disepadukan secara monolitik sebagai penerima optik di dalam komunikasi serat optik dan antara talian di ruang angkasa (Ghioni et al., 1996).

Caria et al., (2001), telah menggunakan bahan komersil silikon untuk menghasilkan pengesan foto MSM yang mempunyai kesambutan di dalam julat UV (200-400 nm). Dalam julat UV, kedalaman penyerapan di dalam silikon adalah lebih kurang 50-800Å. Mereka telah mengkaji sifat-sifat untuk pelbagai jenis pengesan foto menggunakan bahan komersil silikon.

Lee & Zeghbrock, (1995), telah mencadangkan konfigurasi pengesan MSM silikon di mana di atasnya terdapat lapisan setebal 5- μm selaput silikon. Lapisan ini berfungsi untuk memerangkap cahaya di dalam selaput nipis sekaligus meminimakan nilai pengurangan kesambutan, iaitu mengurangkan masa penggerakkan pembawa. Lapisan nipis poli-silikon dibuktikan berjaya meningkatkan lebar-jalur pengesan foto MSM silikon, berbanding dengan tanpa lapisan ini (MacDonald et al., 1999).

Liu & Chou, (1994), telah melaporkan peningkatan kelajuan sambutan dengan menghasilkan pengesan foto MSM di atas Si-atas-penebat. Kunci utama peningkatan kelajuan adalah lapisan oksida yang tertanam yang menghadkan ketebalan aktif silikon. Dengan mengurangkan ketebalan filem silikon kepada 100 nm, pengesan foto dengan 140 GHz pada panjang gelombang 780 nm berjaya dihasilkan. Tetapi malangnya, nilai kecekapan kuantum bagi peranti ini adalah rendah.

Seto et al., (1999), berjaya mengurangkan arus bocor atau arus gelap untuk peranti pengesan MSM silikon tanpa mengurangkan kelajuan peranti melalui kewujudan lapisan oksida di antara sentuhan logam dan silikon. Logam samarium (Sm) telah digunakan sebagai sentuhan logam di atas struktur silikon-atas-penebat (Ohsawa et al., 2002). Pengesan foto mikro yang berfungsi pada julat cahaya biru hingga ke cahaya ultra-ungu berjaya dihasilkan. Wafer Si-atas-penebat (SOI) telah digunakan untuk menghasilkan peranti pengesan foto MSM. Ini adalah disebabkan oleh penyerapan optik oleh silikon adalah baik apabila SOI digunakan. Penyerapan seperti ini berpunca daripada pembawa foto yang teruja dan terperangkap di dalam lapisan aktif yang nipis. Pembawa-pembawa foto yang dijanakan ini bergerak pada jarak yang pendek menuju ke sentuhan logam.

Dalam usaha untuk mempertingkatkan kadar penyerapan oleh pengesan foto MSM silikon, amorfus silikon terhidrogen telah digunakan untuk memperbaiki julat panjang struktur simetri kehabluran silikon dengan merehatkan peraturan pemilihan-k untuk peralihan optik. Laih et al., (1997a), telah menggunakan lapisan i-a-SiGe:H yang nipis dan disepuh lindapkan, masa jatuhan sementara pengesan foto MSM silikon dapat dikurangkan apabila 20V voltan pincangan dikenakan. Arus gelap peranti juga dapat dikurangkan berbanding dengan peranti tanpa lapisan i-a-SiGe:H. Fenomena pengurangan masa jatuhan sementara adalah disebabkan oleh lapisan i-a-SiGe:H memiliki proses perangkap yang banyak (model Scher-Montroll), dan perangkap terdiri daripada yang cetek dan dalam.

Pada tahun yang sama, Laih et al., (1997b), meneruskan kajian dengan menggunakan heterosimpangan amorfus-hablur (i-a-Si:H, i-a-Si_{0.65}Ge_{0.35} dan i-a-Si_{0.56}Ge_{0.44}). Mereka mendapati kesan yang sama berlaku iaitu, arus gelap silikon dapat dikurangkan. Sekali lagi, lapisan i-a-Si_{1-x}Ge_x:H yang mempunyai komposisi bergred telah digunakan untuk memperbaiki tahap kelajuan kesambutan untuk peranti pengesan foto MSM silikon (Lin et al., 2001). Tahap kesensitifan berjaya ditingkatkan, dan arus gelap bagi pengesan foto MSM silikon dapat dikurangkan apabila lapisan amorfus-silikon yang bersifat seperti lapisan sawar telaga kuantum digunakan (Lin et al., 2003).

Dalam usaha untuk mengurangkan arus gelap dan mempertingkatkan kemampuan peranti pengesan MSM silikon, elektrod logam yang berbentuk U telah diperkenalkan sebagai sentuhan logam pada sampel silikon (Laih et al., 1998c., Laih et al., 1998d). Elektrod logam yang berbentuk U ini dihasilkan melalui proses punaran bergantung orientasi (ODE) dengan menggunakan 30% cecair KOH pada suhu bilik. Sebelum elektrod logam yang berbentuk U dihasilkan, lapisan i-a-Si:H dimendapkan pada permukaan silikon. Chui et al., (2003), melaporkan untuk pertama kali penggunaan sentuhan logam yang berlainan atau sentuhan asyemetrik untuk aplikasi

pengesan foto MSM. Mereka telah menggunakan proses fabrikasi dan simulasi untuk bahan silikon dan germanium. Dengan menggunakan sentuhan asimetrik ini, arus gelap bagi pengesan foto MSM silikon (Ti-Si-Ni) dan germanium (Ti-Ge-Ni) dapat dikurangkan.

Dalam kajian ini, kaedah pencucian dan rawatan suhu kriogenik telah dikenakan pada sampel sebelum fabrikasi pengesan foto MSM silikon dihasilkan. Rawatan suhu kriogenik menggunakan cecair nitrogen terbukti meningkatkan arus foto (Hashim & Yusoff, 2006) dan mengurangkan arus gelap peranti MSM silikon (Yusoff & Hashim, 2006).

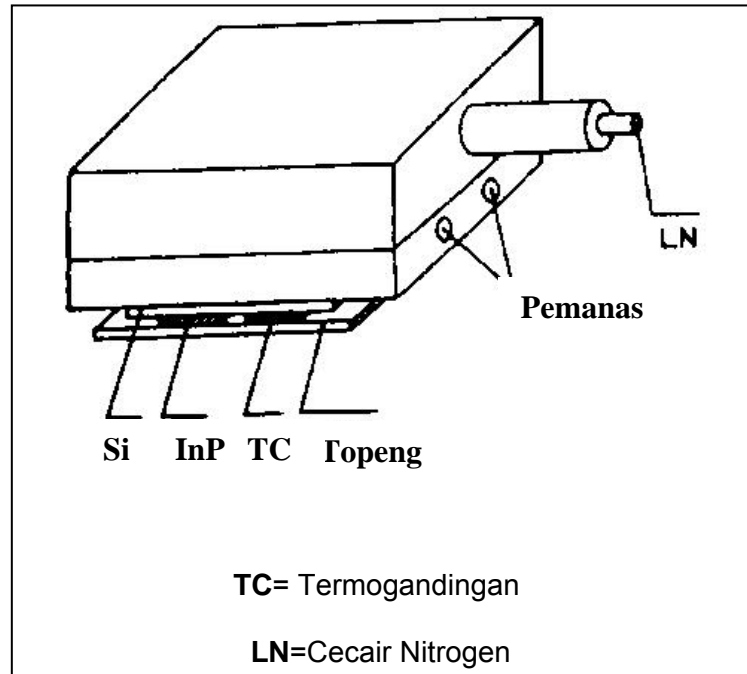
1.3 Latarbelakang rawatan kriogenik

1.3.1 Pemprosesan kriogenik

Pemprosesan kriogenik pertama kali diperkenalkan oleh Shi et al., (1992), menggunakan bahan semikonduktor n-InP. Pemprosesan ini dibangunkan untuk mendapatkan sentuhan Schottky yang baik pada n-InP. Keputusan arus-voltan (I-V) dan kapasitan-voltan (C-V) menunjukkan diod Schottky yang dibentuk pada suhu rendah (77K) mempunyai nilai ketinggian sawar yang tinggi berbanding dengan diod yang dibentuk pada suhu bilik (300K). Rajah 1.1 menunjukkan peralatan yang biasa digunakan untuk proses pemendapan logam pada suhu rendah (77K) dan suhu tinggi.

Lee et al., (1993), juga telah menunjukkan peningkatan nilai ketinggian sawar Schottky untuk bahan semikonduktor n-In_{0.53}Ga_{0.47}As apabila sentuhan Schottky dilakukan pada suhu rendah. Mereka telah melakukan proses pelogaman pada suhu kriogenik hingga kepada suhu bilik. He et al., (1994), telah melakukan pemprosesan kriogenik terhadap InP yang mempunyai dua jenis set sentuhan logam Schottky, iaitu logam Au dan Pd. Sampel yang dilakukan pemprosesan kriogenik telah meningkatkan ketinggian sawar. Campuran oksida fosfor nipis berkemungkinan wujud di antara sentuhan logam dan sampel, berdasarkan keputusan yang diperolehi daripada

pengukuran spektroskopi Raman. Campuran oksida fosfor telah menyumbang kepada peningkatan nilai ketinggian sawar Schottky.



Rajah 1.1 Pembangunan peralatan untuk pelogaman pada suhu rendah dan suhu tinggi (Shi et al., 1992).

Clark et al., (1996), telah melakukan pemprosesan kriogenik terhadap $\text{In}_{53}\text{Ga}_{47}\text{As}/\text{InP}(100)$ menggunakan logam Au, Cu dan In. Mereka mendapati pemprosesan ini telah meningkatkan nilai sawar Schottky sentuhan In- $\text{In}_{53}\text{Ga}_{47}\text{As}(100)$ dari $\Phi_b=0.30$ eV (294 K) kepada $\Phi_b=0.45$ eV (80 K). Untuk sentuhan Au dan Cu, tiada perubahan nilai sawar Schottky direkodkan. Sentuhan Au dan Cu keatas $\text{In}_{53}\text{Ga}_{47}\text{As}(100)$, menunjukkan sifat-sifat Ohmik pada kedua-dua suhu. Mereka mencadangkan berlaku tindakbalas kimia semasa pembentukan antaramuka, gangguan terhadap mod penumbuhan logam atau perubahan nilai regangan pada antaramuka yang menyebabkan perubahan pada sentuhan In- $\text{In}_{53}\text{Ga}_{47}\text{As}(100)$.

He, (1997), telah menggunakan $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ yang didop dengan Se untuk proses pemprosesan kriogenik. Beliau mendapati nilai ketinggian sawar Schottky

meningkat dari $\Phi_b=0.42$ eV (Suhu bilik) kepada $\Phi_b=0.76$ eV (77 K). Nilai faktor idealiti untuk pemrosesan kriogenik bagi $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ yang didop dengan Se adalah 1.82. Beliau mencadangkan pemendapan sentuhan logam pada suhu kriogenik telah menghapuskan paras kecacatan permukaan dan menghasilkan lapisan bersifat amorfus yang kemudiannya akan meningkatkan nilai ketinggian sawar Schottky.

Cammack et al., (1998), telah membuktikan bahawa proses pemendapan logam pada suhu kriogenik dipengaruhi oleh mod penumbuhan tiga dimensi disusuli dengan proses penyerapan keluar oleh As apabila bahan $\text{In}_{53}\text{Ga}_{47}\text{As} / \text{InP}$ (100) digunakan. Pemeriksaan pada permukaan bahan semikonduktor ini menggunakan mikroskop tranmisi elektron (TEM) mengesahkan pembentukan lapisan logam yang seragam apabila dihasilkan pada suhu kriogenik. Mereka juga memperolehi nilai ketinggian sawar Schottky yang tinggi, iaitu dari $\Phi_b=0.30$ eV (294 K) kepada $\Phi_b=0.45$ eV (80 K). Arus diod yang rendah untuk pembentukan logam pada suhu kriogenik diperolehi.

Pemrosesan kriogenik terhadap $\text{InGaAs} / \text{InP}$ untuk aplikasi pengesan foto MSM pertama kali dilakukan oleh He & Siewenie, (2002). Mereka mendapati bahawa nilai ketinggian sawar Schottky dapat ditinggikan, iaitu dari $\Phi_b=0.3$ eV (suhu bilik) kepada $\Phi_b=0.63$ eV (77 K). Mereka juga mendapati permukaan sampel menjadi kasar dan saiz hablur menjadi semakin besar. Keputusan TEM menunjukkan berlaku kemungkinan pembentukan bahan bersifat amorfus di atas permukaan yang mana bertanggungjawab terhadap peningkatan nilai ketinggian sawar (struktur bersifat MIS).

Li & Anderson, (2005, 2007), telah menggunakan bahan silikon untuk digunakan sebagai sampel untuk rawatan suhu kriogenik. Sampel yang telah dirawat kemudiannya difabrikasikan untuk menghasilkan pengesan foto MSM. Didapati bahawa, arus gelap peranti pengesan dapat direndahkan sehingga tiga kali lebih rendah berbanding dengan peranti yang tidak dirawat. Nilai ketinggian sawar Schottky ditingkatkan, iaitu $\Phi_b=0.79$ eV melalui pemrosesan kriogenik. Nilai ketinggian sawar

ini adalah 0.1 eV lebih tinggi berbanding dengan sentuhan yang sama pada pemrosesan pada suhu bilik. Perbezaan kedua-dua nilai ketinggian sawar Schottky ini dapat dikaitkan oleh pembaikan antaramuka permukaan sampel dengan sentuhan logam.

1.3.2 Rawatan suhu kriogenik

Teknik rawatan suhu kriogenik berbeza dengan teknik pemrosesan kriogenik di atas. Rawatan suhu kriogenik ini dilakukan dengan merendamkan sampel atau peranti semikonduktor itu ke dalam cecair nitrogen untuk tempoh masa tertentu. Namun demikian, terdapat dua teknik yang berbeza untuk rawatan suhu kriogenik ini. Teknik pertama adalah merendamkan sampel atau peranti di dalam cecair nitrogen serta merta selepas dilakukan rawatan sepuh lindap untuk sentuhan logam pada sampel atau peranti itu pada suhu tertentu.

Teknik kedua adalah merendamkan sampel ke dalam cecair nitrogen untuk tempoh masa tertentu, dan kemudiannya dimendapkan logam tertentu untuk membentuk sentuhan logam pada permukaan bahan semikonduktor dan disepuh lindapkan pada suhu tertentu. Untuk teknik pertama rawatan suhu kriogenik ini, ia mula diperkenalkan dan diaplikasikan oleh Lee et al., (2005). Beliau dan kumpulannya menggunakan bahan semikonduktor III-V, iaitu Galium Nitrida (GaN) untuk menghasilkan pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM).

Lee et al., (2005), mendapati bahawa arus gelap peranti pengesan foto MSM dapat dikurangkan dan permukaan semikonduktor untuk peranti pengesan menjadi semakin licin. Nilai ketinggian sawar Schottky juga berubah apabila rawatan suhu kriogenik digunakan. Sebagai contoh, selepas proses suhu sepuh lindapan 400⁰C, nilai ketinggian sawar Schottky berubah dari $\Phi_b=0.450$ eV (suhu bilik) kepada $\Phi_b=0.519$ eV (77 K). Lee et al., (2005) mencadangkan bahawa rawatan suhu ini berjaya mengurangkan elektro-migrasi logam nikel ke dalam GaN, dan kemudiannya

menghasilkan sentuhan logam-semikonduktor yang seragam dan baik. Ini adalah kerana elektro-migrasi logam nikel pada suhu tinggi akan merendahkan kualiti sentuhan logam.

Teknik pertama ini diteruskan pula Othman et al., (2006), terhadap bahan semikonduktor III-V juga iaitu, $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{N}$ didop dengan silikon yang mempunyai sentuhan Ohmik dua lapisan Ag/Ti di atas permukaan semikonduktor. Dalam kajian yang telah dijalankan, mereka telah mendapati bahawa permukaan sampel menjadi semakin licin dan meningkatkan sifat-sifat Ohmik diod semikonduktor. Kerintangan sentuhan spesitik menjadi semakin baik apabila rawatan suhu ini digunakan. Sebagai contoh, selepas proses suhu sepuh lindapan 400°C , nilai kerintangan sentuhan spesifik berkurangan, iaitu $\rho_c(\Omega\text{-cm}^2)=0.041$ (suhu bilik) kepada $\rho_c(\Omega\text{-cm}^2)=0.0133$ (77 K).

Hashim et al., (2004), telah menggunakan teknik kedua untuk rawatan suhu kriogenik terhadap sampel $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ / p-Si (100) multitelaga kuantum (MQW). Dalam kajian yang telah dijalankan, mereka mendapati bahawa, rawatan ini telah mengubah permukaan sampel menjadi semakin licin. Rawatan suhu ini juga telah mengubah sifat-sifat optik sampel seperti indeks biasan dan ϕ . Hashim & Salih, (2005), telah mengaplikasikan rawatan suhu kriogenik untuk teknik kedua terhadap silikon (111) jenis p, silikon (100) jenis p, silikon (111) jenis n dan silikon (111) jenis p. Kesemua sampel ini menunjukkan perubahan permukaan dan indeks biasan.

Selepas rawatan suhu dilakukan, kekasaran permukaan untuk semua sampel menjadi semakin licin. Indeks biasan untuk kesemua sampel secara keseluruhannya menjadi semakin stabil setelah rawatan suhu dilakukan. Spektra PL menunjukkan peningkatan keamatan dan keseragaman di dalam kawasan nampak untuk sampel yang dirawat berbanding dengan sampel yang tidak dirawat. Keputusan PL mendedahkan berlakunya kemungkinan kesan pengurangan kuantum nano-hablur terhadap sampel yang dirawat dengan rawatan suhu kriogenik.

Dalam kajian ini, rawatan suhu kriogenik untuk teknik kedua digunakan. Berdasarkan keputusan yang diperolehi oleh Hashim & Salih, (2005), kajian rawatan suhu ini diteruskan dengan menggunakan rawatan ini untuk melihat kesannya terhadap pencapaian peranti pengesan foto MSM dan sifat-sifat kimia dan optikal yang lain.

1.4 Objektif penyelidikan

1. Mengubah sifat-sifat optik dan struktur permukaan silikon jenis n berorientasi (100) untuk aplikasi pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM).
2. Penggunaan cecair nitrogen untuk tujuan rawatan suhu kriogenik (77K) dan tiga jenis teknik pembersihan yang digunakan sebagai tambahan kepada kajian rawatan suhu.
3. Pengurangan arus gelap dapat dikurangkan dan kadar nisbah peningkatan (arus foto/arus gelap) dapat ditingkatkan menggunakan rawatan suhu kriogenik. Apabila arus gelap dapat dikurangkan, ia akan menjimatkan kuasa bateri yang perlu dibekalkan kepada alat pengesan tersebut. Peningkatan nilai kadar nisbah peningkatan menunjukkan alat peranti tersebut memiliki sambutan yang amat baik.

Teknik kedua rawatan suhu kriogenik ini adalah yang paling mudah dan murah untuk dilakukan berbanding dengan teknik pemprosesan menggunakan cecair nitrogen yang dilaporkan oleh kebanyakan penyelidik seluruh dunia sebelum ini.

1.5 Susunan tesis

Bab 2 membincangkan teori asas dan prinsip-prinsip operasi peranti pengesan foto MSM, teori mengenai sentuhan logam-semikonduktor, nikel silicida dan teknik-teknik pembersihan yang digunakan.

Bab 3 membincangkan metodologi kajian yang digunakan untuk proses fabrikasi pengesan foto MSM dan pencirian morfologi dengan kaedah mikroskop daya atomik (AFM), pencirian spektroskopi jelmaan fourier infra-merah (FTIR), spektroskopi RAMAN, foto luminesens (PL) dan belauan sinar-X (XRD). Bab ini juga memberikan penerangan tentang teknik dan kaedah eksperimen untuk fabrikasi pengesan foto MSM silikon, iaitu teknik rawatan suhu kriogenik, tiga teknik pembersihan wafer, pelogaman dan proses sepuh lindap. Dalam bab ini juga, diterangkan kaedah simulasi menggunakan perisian SILVACO ATLAS.

Bab 4 membincangkan kesan kekasaran permukaan silikon dan rawatan pembersihan yang berlainan terhadap silikon untuk aplikasi pengesan foto MSM. Bab ini juga membincangkan keputusan daripada kaedah simulasi menggunakan perisian SILVACO ATLAS.

Bab 5 membincangkan kesan kombinasi pembersihan RCA, SPM, dan HF dengan rawatan suhu kriogenik terhadap silikon untuk aplikasi pengesan foto MSM. Keputusan-keputusan daripada pencirian menggunakan alat-alat optik seperti spektroskopi Raman, pengukuran PL, spektroskopi FTIR dan XRD ditunjukkan. Kesan perubahan masa rawatan suhu kriogenik terhadap potensi pengesan foto MSM juga ditunjukkan. Akhir sekali, Bab 6 memberikan kesimpulan hasil penyelidikan dan cadangan untuk kajian lanjutan.

BAB 2

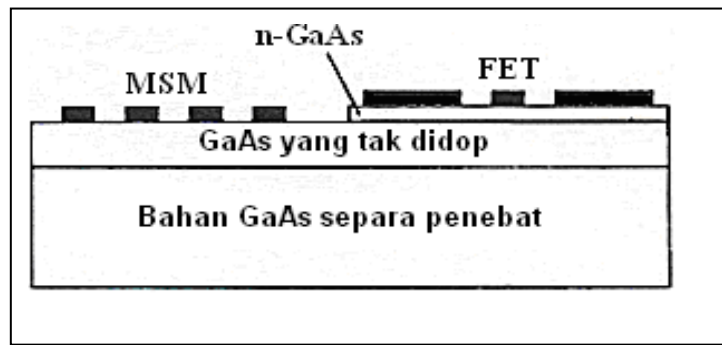
TEORI

2.1 Pengenalan

Semikonduktor ialah bahan yang memiliki sifat-sifat kekonduksian di antara bahan konduktor dan bahan penebat. Kekonduksian bahan semikonduktor boleh diubah dengan mengawal suhu, pengujaan optik dan kandungan bendasing di dalam semikonduktor. Sebilangan elektron yang bebas bersedia untuk mengalirkan arus apabila voltan dibekalkan. Bahan semikonduktor merupakan pilihan utama di dalam penyelidikan peranti-peranti mikroelektronik, optoelektronik, dan fotonik. Ini disebabkan oleh sifat-sifat perubahan keelektrikan bahan semikonduktor ini. Dalam kajian ini, bahan semikonduktor silikon digunakan sebagai sampel untuk mengkaji potensi dan masa hadapan teknik rawatan suhu kriogenik menggunakan cecair nitrogen. Silikon adalah murah berbanding dengan bahan semikonduktor yang lain, dan ia menjadi pilihan utama di dalam kajian ini.

2.2 Pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM)

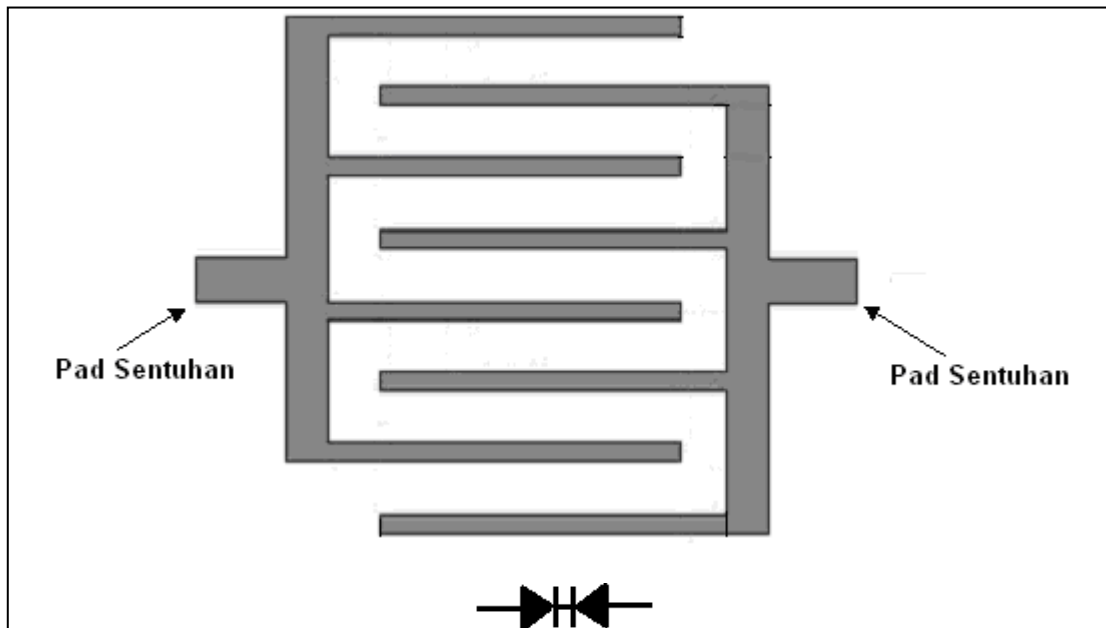
Di antara pengesan-pengesan foto seperti pengesan foto PN, PIN, Avalance dan Schottky yang terdapat pada hari ini, pengesan foto logam-semikonduktor-logam (MSM) merupakan peranti pengesan yang digunakan di dalam kajian ini. Antara sebab pemilihan pengesan foto MSM untuk bahan silikon adalah proses fabrikasi untuk menghasilkan peranti ini mudah, memiliki nilai arus gelap yang rendah, nilai kapasitan yang kecil, kawasan aktif yang besar untuk pengesanan, sambutan yang cepat, lebar jalur yang besar, hingar yang kecil dan amat sesuai disepadukan dengan litar monolitik bersepadu untuk penerima optikal, seperti di dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1 Contoh GaAs MSM-FET bersepadu, menunjukkan kesesuaian peranti dan MSM bersepadu mudah dilakukan.

Pengesan foto MSM secara asasnya mempunyai dua diod Schottky di antara satu sama lain. Keseluruhan lapisan semikonduktor di antara dua elektrod logam akan mengalami kesusutan sepenuhnya dibawah pincangan yang mencukupi. Untuk meningkatkan nilai sambutan dan kelajuan pengesan foto, elektrod diod dicorakkan seperti jejari antaradigit seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.2.

Fokus utama di dalam projek ini adalah kajian terhadap perubahan sifat-sifat keelektrikan pengesan foto MSM silikon apabila menerima rawatan suhu kriogenik dan teknik pembersihan silikon yang berlainan. Struktur pengesan foto MSM terdiri daripada dua sentuhan schottky antaradigit (elektrod) dengan lebar jejari ialah $230 \mu m$, ruang antara jejari $400 \mu m$, dan panjang setiap elektrod adalah lebih kurang 3.3 mm . Ia terdiri daripada empat jejari untuk setiap elektrod seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.2. Luas kawasan aktif adalah bernilai $5.648 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Kebiasaannya struktur pengesan foto MSM terdiri daripada dua sentuhan Schottky yang dihubungkan secara belakang ke belakang. Apabila voltan pincangan dibekalkan kepada struktur MSM silikon, salah satu sentuhan akan menjadi pincangan depan dan satu lagi sentuhan Schottky akan menjadi pincangan songsang.



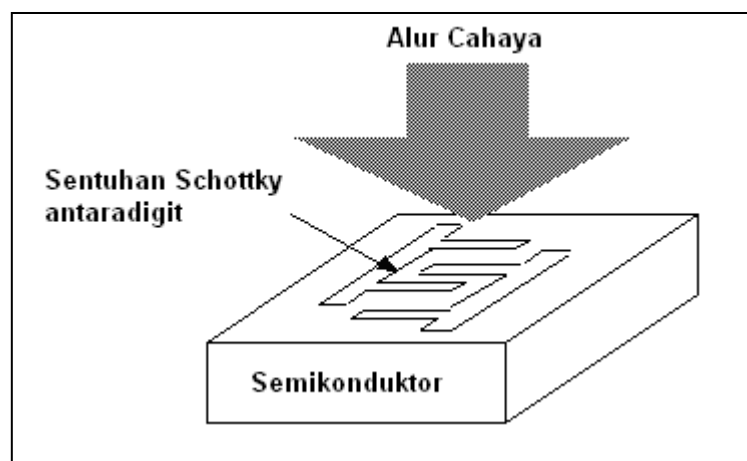
Rajah 2.2 Struktur MSM yang digunakan di dalam projek ini.

Kebiasaannya pencirian keelektrikan dilakukan terhadap sampel daripada diod Schottky iaitu, parameter-parameter yang ditentukan adalah seperti nilai ketinggian sawar. Nilai ketinggian sawar dianggap sama untuk sentuhan Schottky bagi struktur MSM yang difabrikasikan, menggunakan bahan yang sama (Ito & Wada, 1986., Koscielniak et al., 1990). Untuk mengkaji sifat-sifat keelektrikan peranti pengesan foto MSM silikon ini, kaedah yang tepat dan sesuai telah ditetapkan di dalam projek ini, iaitu dengan mendapatkan nilai bacaan faktor idealiti dan nilai ketinggian sawar Schottky, Φ_B .

Kedua-dua bacaan ini adalah berlainan walaupun kawasan sentuhan Schottky adalah sama, dan menggunakan logam dan bahan semikonduktor yang sama (Sze, 1981., Guha et al., 1977., Mohny et al., 1998). Apabila cahaya mengenai pada permukaan pengesan foto MSM, pasangan elektron-lohong akan dijanakan dibahagian jurang di antara dua elektrod logam iaitu lapisan aktif semikonduktor. Pasangan elektron-lohong ini kemudiannya akan diasingkan oleh medan elektrik di dalam kawasan kesusutan pada kedua-dua sentuhan Schottky seperti di dalam Rajah 2.3.

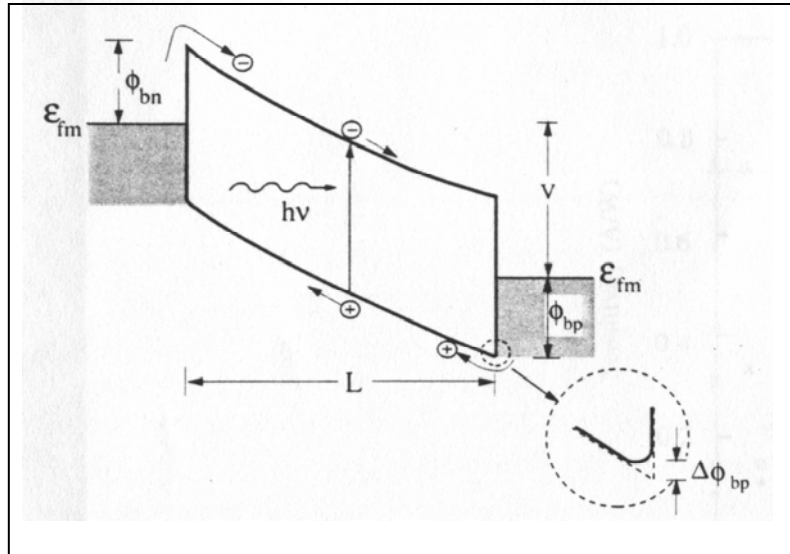
Sambutan adalah disebabkan oleh pergerakan elektron atau lohong (iaitu arus elektrik) yang melalui litar yang disambung pada pengesan foto berkenaan.

Arus gelap yang rendah dapat menjimatkan voltan atau kuasa yang dibekalkan. Nilai tinggi untuk nisbah isyarat kepada hingar adalah sangat penting untuk proses penghasilan pengesan foto yang baik. Pengesan dengan penghasilan nilai hingar yang rendah atau nilai yang rendah untuk hingar kuasa se-erti (NEP) akan memiliki tahap pengesanan yang baik. Pengesan foto yang memiliki pengesanan yang baik akan menjadi peka dan berupaya mengesan tahap radiasi yang rendah, berbanding dengan pengesan yang mempunyai pengesanan yang kurang baik. Pengesanan, D dapat diungkapkan di dalam bentuk rumus iaitu, $D=1/ NEP$ (Donati, 1999).



Rajah 2.3 Pasangan elektron-lohong dihasilkan pada jurang antara dua sentuhan logam (sentuhan Schottky) yang kemudiannya diasingkan oleh medan elektrik dalam kawasan kesusutan pada dua sentuhan Schottky (Shur, 1996).

Arus gelap bagi pengesan foto MSM ditentukan oleh pancaran termionik mengatasi sawar, seperti di dalam Rajah 2.4. Apabila voltan pincangan yang rendah dikenakan, pada sentuhan pincangan songsangan, suntikan elektron menjadi faktor dominan. Apabila voltan pincangan ditingkatkan, suntikan lohong dibahagian sentuhan pincangan hadapan juga akan menjadi faktor dominan. Suntikan lohong akan cenderung mendominasi selepas keadaan tembus-tiba dicapai.



Rajah 2.4 Jalur tenaga bagi pengesan foto MSM apabila voltan pincangan dibekalkan. Rajah kecil menunjukkan kesan penurunan daya imej (*image force*). Kesan yang sama berlaku untuk sentuhan yang lain (Bhattacharya, 1997).

Jumlah ketumpatan arus di dalam keadaan ini diberikan oleh persamaan di bawah (Bhattacharya, 1997)

$$J = A_n^{**} T^2 e^{-q(\Phi_{bn} - \Delta\Phi_{bn})/k_B T} + A_p^{**} T^2 e^{-q(\Phi_{bp} - \Delta\Phi_{bp})/k_B T} \quad (2.1)$$

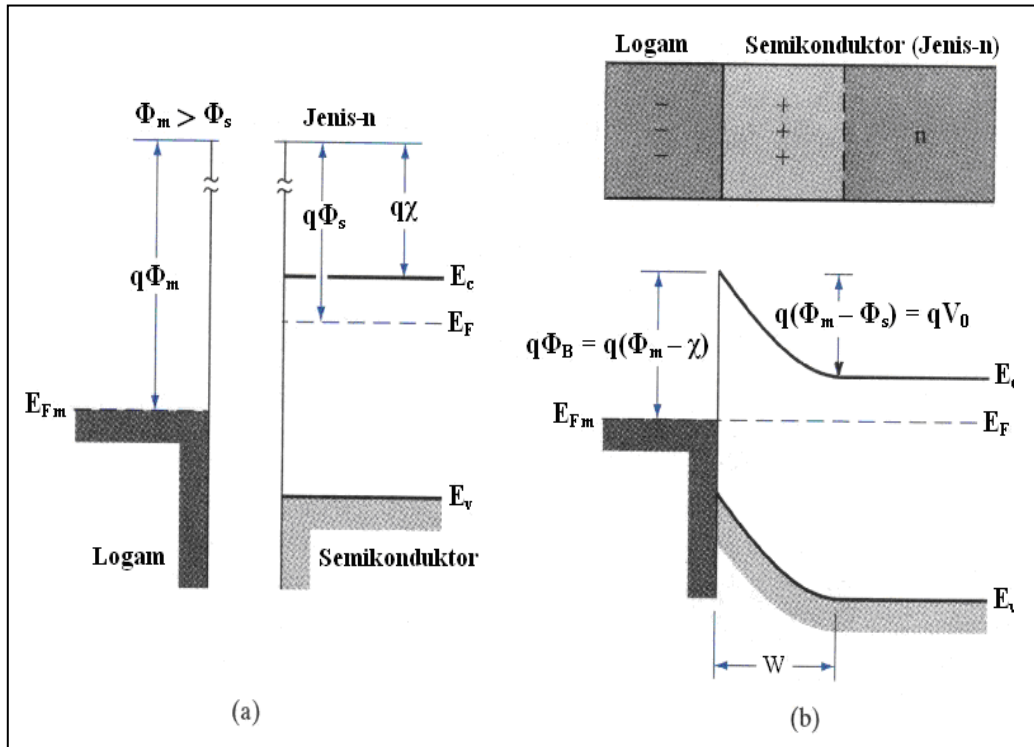
di mana A^{**} adalah pemalar Richardson dan $\Delta\Phi$'s adalah merujuk kepada penurunan nilai ketinggian sawar disebabkan oleh kesan daya imej, seperti yang ditunjukkan di dalam rajah kecil di dalam Rajah 2.4. Kehadiran medan elektrik menyebabkan daya-imej-teraruh menurunkan tenaga keupayaan cas untuk proses pancaran pembawa cas. Pertimbangkan satu elektron, di dalam keadaan vakuum dan pada jarak x dari permukaan logam. Cas positif akan diarahkan ke atas logam pada jarak x dari permukaannya. Fenomena ini meningkatkan daya tarikan antara kedua-dua cas yang dikenali sebagai daya imej. Daya ini akan bersekutu dengan tenaga keupayaan imej (iaitu merujuk kepada tenaga keupayaan elektron pada jarak x dari

logam). Apabila medan luar dikenakan, bersama-sama dengan daya imej dan tenaga keupayaan imej, nilai sawar Schottky dapat diturunkan. Oleh itu, pada medan tinggi, nilai sawar Schottky dipertimbangkan dan nilai ini adalah berkurangan.

2.3 Sentuhan logam-semikonduktor

Sentuhan logam pada bahan semikonduktor atau simpangan logam-semikonduktor merupakan sebahagian daripada perkara penting yang perlu diberi perhatian untuk semua peranti semikonduktor. Terdapat dua jenis sentuhan logam dengan bahan semikonduktor, iaitu sentuhan Schottky dan sentuhan Ohmik. Kedua-dua jenis sentuhan ini memainkan peranan penting di dalam peranti semikonduktor disebabkan kedua-dua sentuhan ini mudah dihasilkan dan amat berguna apabila rektifikasi peranti berkelajuan tinggi diperlukan.

Merujuk kepada Rajah 2.5, satu simpangan di antara logam dengan semikonduktor jenis-n terbentuk apabila kedua-dua bahan dicantumkan bersama. Dalam Rajah 2.5 ini, $q\Phi_m$ dan $q\Phi_s$ merujuk kepada fungsi kerja logam dan fungsi kerja semikonduktor dan ianya mewakili tenaga yang diperlukan untuk menyingkirkan elektron dari paras Fermi ke paras vakum. Dengan menganggap bahawa $q\Phi_m$ adalah lebih besar daripada $q\Phi_s$ ($q\Phi_m > q\Phi_s$), kedudukan paras Fermi di dalam logam adalah lebih rendah berbanding dengan semikonduktor. Afiniti elektron, $q\chi$ bagi semikonduktor ditakrifkan sebagai perbezaan tenaga di antara pinggir jalur konduksi E_c dan paras vakum. Apabila simpangan terbentuk, elektron dari keadaan jalur konduksi di dalam semikonduktor mengalir ke dalam logam kerana mereka mempunyai tenaga lebih tinggi. Pengaliran ini berlaku sehingga paras Fermi untuk kedua-dua bahan logam dan semikonduktor berada pada paras yang sama.



Rajah 2.5 Sawar Schottky dibentuk dengan menghubungkan semikonduktor jenis-n dengan logam yang memiliki fungsi kerja besar : a) rajah jalur untuk logam dan semikonduktor sebelum dihubung; b) rajah jalur keseimbangan untuk simpangan (Streetman & Banerjee, 2000).

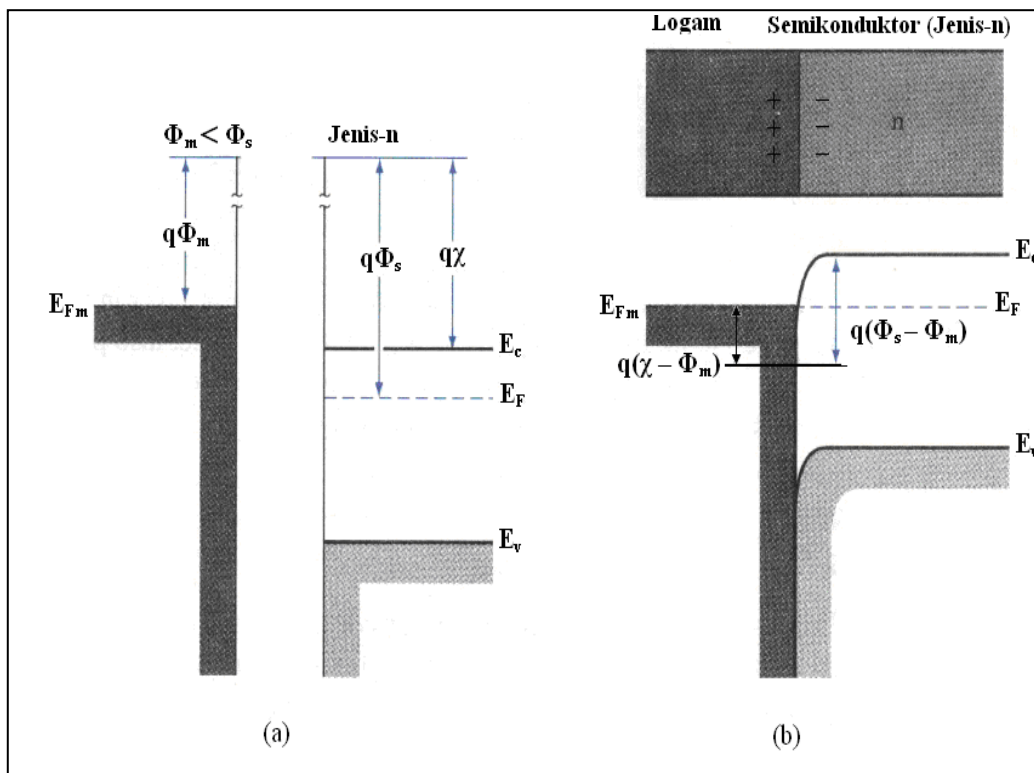
Elektron yang mengalir dari semikonduktor ke logam meninggalkan ion penderma yang bercas positif di kawasan berketebalan W di dalam semikonduktor, iaitu rantau kesusutan berketebalan, W terbentuk. Dengan itu, paras Fermi dekat permukaan rantau beralih ke bawah di dalam semikonduktor dan menyebabkan pemesongan jalur ke atas. Selain itu, disebabkan pengaliran elektron dari semikonduktor ke logam, cas negatif berkumpul di sebelah logam. Kewujudan dua jenis cas di kedua-dua pinggir simpangan menghasilkan satu medan elektrik yang mengarah dari semikonduktor ke logam. Keupayaan sentuhan keseimbangan pada simpangan, V_0 menghalang pengaliran elektron yang selanjutnya dari semikonduktor ke logam. V_0 mewakili perbezaan keupayaan fungsi kerja Φ_m dan Φ_s . Nilai ketinggian sawar, $q\Phi_B$ bagi suntikan elektron dari logam ke semikonduktor pula diberikan oleh

$$q\Phi_B = q\Phi_m - q\chi \quad (2.2)$$

Simpangan logam-semikonduktor jenis ini disebut sawar Schottky. Sawar Schottky juga terbentuk apabila logam dimendapkan di atas semikonduktor jenis-p, di mana $q\Phi_m < q\Phi_s$. Untuk menjadikan paras Fermi sama paras, elektron mesti mengalir dari logam ke semikonduktor, menghasilkan cas permukaan positif di dalam logam dan cas negatif di semikonduktor. Cas negatif tersebut wujud di dalam rantau kesusutan W di mana ion penerima ditinggalkan oleh lohong. Keupayaan sentuhan V_0 yang menghalang resapan lohong dari semikonduktor ke logam $\Phi_s - \Phi_m$.

Sentuhan Ohmik ditakrifkan sebagai sentuhan logam-semikonduktor yang mempunyai rintangan sentuhan yang boleh diabaikan jika dibandingkan dengan rintangan pukal atau siri bagi semikonduktor. Sentuhan Ohmik boleh dicapai apabila simpangan logam-semikonduktor memenuhi syarat berikut iaitu $q\Phi_m < q\Phi_s$ bagi semikonduktor jenis-n. Apabila $q\Phi_m < q\Phi_s$ dan semikonduktor adalah jenis-n, paras- paras Fermi boleh disusun sehingga menjadi sama paras dengan memindahkan elektron dari logam ke semikonduktor. Penyusunan ini menaikkan tenaga elektron semikonduktor berbanding dengan tenaga elektron di dalam logam pada keadaan keseimbangan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.6. Sawar bagi pengaliran elektron dari logam ke semikonduktor adalah kecil dan ianya boleh diatasi dengan sedikit voltan pincangan.

Begitu juga, apabila $q\Phi_m > q\Phi_s$ dan semikonduktor adalah jenis-p, lohong akan mengalir merentasi simpangan dengan mudah. Berbeza dengan sentuhan Schottky yang dibincangkan sebelum ini, rantau kesusutan tidak wujud untuk sentuhan Ohmik. Ini disebabkan oleh penyusunan paras Fermi supaya menjadi sama paras memerlukan pengumpulan pembawa majoriti di dalam semikonduktor.



Rajah 2.6 (a) Sentuhan Ohmik logam-semikonduktor untuk semikonduktor jenis-n ($\Phi_m < \Phi_s$) dan (b) rajah jalur keseimbangan untuk simpangan ini (Streetman & Banerjee, 2000).

2.4 Nikel silicida

Proses sepuh lindapan terhadap sentuhan Ni-silikon pada suhu 400°C selama 10 minit dipercayai menghasilkan fasa baru yang dikenali sebagai nikel silicida pada sentuhan Ni-silikon. Nikel silicida yang dihasilkan pada suhu 400°C mungkin menghasilkan fasa baru, iaitu antara Ni_2Si - NiSi - Si dan NiSi - Si (Jadual 2.1) merujuk kepada suhu yang digunakan di dalam kajian ini.

Pembentukan silicida adalah hasil daripada tindakbalas keadaan pepejal pada suhu rendah iaitu $1/3$ hingga $1/2$ takat lebur silicida di dalam unit darjah Kelvin. Silicida terbentuk disebabkan oleh penyerapan logam ke dalam silikon, hasil daripada kelemahan ikatan Si-Si yang wujud. Hampir kesemua silicida menunjukkan sifat-sifat konduksi seperti logam, yang mana terhasil daripada rawatan suhu terhadap sentuhan

logam-semikonduktor. Lapisan antarmuka silicida-silikon yang terbentuk, mempunyai jarak tertentu dari permukaan asal silikon. Oleh hal demikian, lapisan silicida-silikon yang terbentuk adalah bebas dari pencemaran dan stabil pada suhu bilik. Secara amnya, sentuhan yang terbentuk melalui rawatan suhu ini mempunyai sifat-sifat elektrik yang stabil, yang mana menghampiri kepada unggul. Sentuhan silicida ini juga menunjukkan pelekatan mekanikal yang baik. Silicida sering digunakan sebagai antarahubung di dalam teknologi litar yang mempunyai skala mikro. Ini disebabkan oleh sifat-sifat konduksi seperti logam dan kestabilan kelogaman.

Tiga jenis fasa Ni_2Si , NiSi dan NiSi_2 telah dikenal pasti di dalam proses penumbuhan nikel silicida. Fasa pertama yang terbentuk pada suhu menghampiri 300°C adalah Ni_2Si . Fasa ini akan terbentuk untuk beberapa tempoh masa jam tertentu. Selepas 10 jam berlalu, pada suhu yang sama iaitu 300°C , fasa NiSi akan muncul. Kedua-dua fasa Ni_2Si dan NiSi akan muncul pada bahagian pertama permukaan silikon dan bergerak menuju ke permukaan luar nikel. Ketebalan fasa Ni_2Si adalah berkadar dengan punca kuasa dua masa. Manakala fasa NiSi berkadar terus dengan masa. Pada suhu melebihi 750°C , fasa ketiga NiSi_2 akan muncul.

Tidak seperti tindakbalas dua fasa sebelum ini, perubahan kepada fasa NiSi_2 bukan disebabkan oleh pergerakan antarmuka satah di antara fasa disebelah, tetapi pengurangan beransur-ansur di dalam kepekatan purata nikel untuk keseluruhan NiSi , di dalam julat suhu lebih kurang 100°C . Ia mencadangkan bahawa wujudnya inti disilicida pada bahagian tersebut untuk keseluruhan fasa NiSi berbanding dengan sempadan-sembadan fasa. Penumbuhan secara epitaksi untuk NiSi_2 dapat dilakukan pada silikon yang mempunyai orientasi (111), (110) dan (100). NiSi_2 mempunyai struktur kubik kalsium fluorida dengan pemalar kekisi 5.43 \AA (berbanding dengan 5.28 \AA untuk silikon), jadi struktur hablur dan ruang kekisi antara disilicida dan silikon adalah hampir bersepadanan.

Jadual 2.1 Ketinggian sawar untuk sistem Ni-Si (Coe, 1974)

Suhu Tindakbalas ($^{\circ}$ C)	Fasa yang wujud	Tinggi Sawar (eV)
20	Ni-Si	0.70
230	Ni-(Ni ₂ Si)-Si	0.71
324	Ni-Ni ₂ Si-(NiSi)-Si	0.70
356	Ni ₂ Si-NiSi-Si	0.70
377	Ni ₂ Si-NiSi-Si	0.72
430	NiSi-Si	0.69
550	NiSi-Si	0.68
650	NiSi-(NiSi ₂)-Si	0.69
850	NiSi ₂ -Si	0.70

2.5 Pembersihan RCA, SPM dan HF

Skop untuk sebahagian dari kajian ini, tiga jenis teknik pembersihan telah digunakan, iaitu pembersihan RCA, SPM dan HF. Teknik pembersihan SPM dan HF telah diubahsuai daripada formula asal untuk pembersihan wafer silikon. Pengubahsuaian ini hanya melibatkan penambahan beberapa langkah pencucian sahaja tanpa mengganggu komposisi bahan kimia yang digunakan sebelum ini. Horvath et al., (2002), telah melakukan penambahan beberapa langkah untuk pembersihan SPM dan HF. Penambahan beberapa langkah untuk SPM dan HF akan diterangkan di dalam Bab 3. Namun demikian, penambahan beberapa langkah di dalam SPM dan HF hanya melibatkan komposisi bahan kimia tertentu seperti di dalam Jadual 2.2. Apabila sampel-sampel silikon yang telah dibersihkan dengan ketiga-tiga teknik pembersihan ini, kesemua sampel tersebut dicirikan permukaan oleh AFM dan kemudian digunakan untuk menghasilkan pengesan foto MSM. Rawatan suhu kriogenik juga digunakan selepas ketiga-tiga teknik pembersihan tersebut. Ini adalah

untuk mengkaji potensi gabungan di antara rawatan pembersihan dan rawatan suhu kriogenik terhadap pencapaian pengesan foto MSM silikon.

Kaedah RCA mula diperkenalkan oleh Kern, (1970), dan kini teknik RCA ini telah digunakan secara meluas di dalam industri pembuatan peranti semikonduktor. Wafer mestilah bebas daripada zarah-zarah pencemar, organik dan pencemaran logam. Kaedah RCA melibatkan beberapa langkah penting dan ianya akan diterangkan langkah demi langkah di dalam Bab 3 nanti.

Jadual 2.2 Bahan kimia yang digunakan untuk pembersihan silikon (Kern, 1993).

Larutan Pembersih	Nama Singkatan	Simbol kimia dan % kepekatan	Sasaran pembersihan
Asid sulfurik / Hidrogen peroksida / Air ternyahion	SPM (sulfuric/peroxide mix), "Caros" Asid	H ₂ SO ₄ (98 %) / H ₂ O ₂ (30%)	Organik Berat (Burkman,1981)
HF / Air ternyahion	HF	HF (49 %) / H ₂ O	Oksida Semulajadi
Ammonium Hidroksida / Hidrogen peroksida / Air ternyahion	APM (ammonia/peroxide mix) / SC1	NH ₄ OH (27 %) / H ₂ O ₂ (30 %) / H ₂ O	Zarah, Organik ringan dan logam; pelindung penumbuhan oksida semula (Kern, 1990)
Asid hidroklorik / hydrogen peroksida / air ternyahion	HPM (hydrochloric/ peroxide mix) / SC2	HCl (37%) / H ₂ O ₂ (30 %) / H ₂ O	Logam berat, alkali, dan logam hidroksida (Kern, 1990)

Larutan piawai RCA terdiri daripada tiga larutan utama, iaitu SC1, SC2 dan HF. Ketiga-tiga larutan RCA ini masing-masing berfungsi menyingkirkan pencemaran tertentu. Merujuk kepada Jadual 2.2, larutan APM atau SC1 berfungsi mengoksidakan dan memunarkan sedikit permukaan untuk menyingkirkan pencemaran logam. SC1

berupaya menyingkirkan pencemaran zarah dengan berkesan berbanding dengan larutan SPM (Ajioka et al., 1996).

Larutan HPM atau SC2 berfungsi menyingkirkan pencemaran logam daripada substrat silikon dan ia bertindak sebagai agen pengoksidaan. Manakala, larutan HF berperanan menyingkirkan oksida, memunarkan silikon dioksida dan silikon oksida serta mengurangkan kandungan logam pada permukaan. Larutan SPM digunakan untuk menyingkirkan pencemaran organik. Ia juga dikenali sebagai pembersihan Piranha.

2.6 Rumusan

Dalam bab ini telah diterangkan secara ringkas mengenai pengesan foto MSM. Untuk menghasilkan peranti semikonduktor yang baik, maka kualiti dan jenis sentuhan logam dengan semikonduktor perlu dititik beratkan. Jenis-jenis sentuhan di dalam bidang semikonduktor mempunyai keunikan tersendiri. Sebelum sentuhan logam-semikonduktor dilakukan, tahap kebersihan sampel hendaklah diperhatikan dan dijaga. Dalam kajian ini, tiga jenis teknik pembersihan untuk silikon telah digunakan. Tiap-tiap bahan kimia yang digunakan mempunyai peranan tertentu untuk mengurangkan pencemaran pada sampel dan secara khususnya ia dapat mengelakkan kerosakkan kepada peranti pengesan foto MSM silikon.