

**KAJIAN CIRI-CIRI BAHAN TALIUM GALIUM ANTIMONIDA, TlGaSb  
SECARA PENGIRAAN NUMERIKAL**

**MUHAMMAD SHUHIR BIN MOHAMAD**

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN  
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA SAINS  
DENGAN KEPUJIAN**

**PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK  
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

**November 2008**



**UMS**  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: KAJIAN CIRI-CIRI BAHAN TALIUM GALIUM ANTIMONIDA  
TIGASb SECARA PENGIRAAN NUMERIKAL. ARSENIDA,

IJAZAH: SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN FIZIK  
DENGAN ELEKTRONIK

SAYA MUHAMMAD SHHIR BIN MOHAMAD SESI PENGAJIAN: 2005-2008  
 (HURUF BESAR)

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

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

SULIT

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

TERHAD

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

TIDAK TERHAD

PERPUSTAKAAN Disahkan Oleh

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH



(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 10945, TAMAN SRI  
WANGI BATU RAKIT, 21020,  
KUALA TERENGGANU, TERENGGANU.

Tarikh: 1/12/08Tarikh: 28/11/08

CATATAN:- \*Potong yang tidak berkenaan.

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

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

PROF. MADYA DR. ABDULLAH CH  
 Sekolah Sains & Teknologi  
 Universiti Malaysia Sabah,  
 Seg Berbau  
 Kota Kinabalu  
 88999

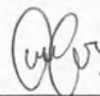


**PENGAKUAN**

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

**20 November 2008**

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH



---

**MUHAMMAD SHUHIR BIN MOHAMAD**

HS2005-3046




## PENGESAHAN

Tandatangan

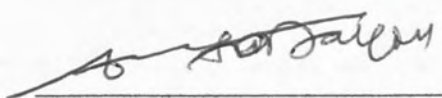
## 1. PENYELIA

PROF. MADYA DR. ABDULLAH CHIK

  
28/11/08

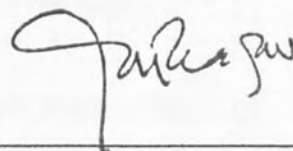
## 2. PEMERIKSA

PROF. MADYA DR. JEDOL DAYOU

  
28.11.2008

## 3. DEKAN

PROF. DR. MOHD. HARUN ABDULLAH

  
\_\_\_\_\_



## PENGHARGAAN

### **Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Pengasih**

Bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia dan keizinan-Nya, disertasi ini dapat dilengkapkan dengan jayanya.

Saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia saya yang disanjung, Prof Madya Dr. Abdullah bin Chik, yang tidak putus memberi panduan dan bimbingan dalam menyiapkan kertas ilmiah ini. Tanpa nasihat dan teguran beliau, belum tentu kajian ini boleh disiapkan.

Terima kasih juga buat semua warga pensyarah Sekolah Sains dan Teknologi terutamanya pensyarah dalam program Fizik dengan Elektronik kerana turut sama memberi tunjuk ajar dan bantuan.

Khas buat ayah bonda dan keluarga yang tidak putus-putus memberi sokongan moral dan kewangan, sekadar terima kasih tidak mencukupi untuk membalas segala jasa kalian.

Akhir sekali, terima kasih diucapkan kepada rakan-rakan seperjuangan tanpa mengira program, sekolah, mahupun tahun pengajian. Kenangan bersama pasti dikenang sentiasa.

Muhammad Shuhir bin Mohamad

HS2005-3046

Program Fizik dengan Elektronik



## ABSTRAK

Disertasi ini bertujuan mengkaji ciri-ciri elektronik seperti jurang tenaga, ciri kekonduksian dan jenis sebatian untuk talium galium antimonida,  $Tl_xGa_{1-x}Sb$ , di mana  $x$  adalah bersamaan dengan 0.1, 0.2,... 1.0 dengan menggunakan *EXCITING*, iaitu satu perisian yang melakukan pengiraan menggunakan kaedah *Density Functional Theory* (DFT) dan *Full-Potential Linearised Augmented Planewave* (FP-LAPW). Adalah didapati bahawa sebatian  $Tl_xGa_{1-x}Sb$  yang pada mulanya menunjukkan sifat semikonduktor jenis langsung apabila  $x$  bersamaan dengan 0.1, berubah menjadi semikonduktor tak langsung untuk nilai  $x$  dari 0.2 hingga 0.5, dan seterusnya berubah menjadi separuh logam untuk nilai  $x$  dari 0.6 hingga 1.0. Nilai jurang tenaga pula semakin mengecil dari 0.322 eV ke 0.291 eV untuk  $x$  dari 0 hingga 0.1, mengecil dari 0.252 eV ke 0.018 eV untuk  $x$  dari 0.2 hingga 0.5, dan terus mengecil dari -0.06 eV ke -0.373 eV untuk  $x$  dari 0.6 hingga 1.0.



## ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to study the electronic properties such as the energy gap, conductivity and compound type for thallium gallium antimonide,  $\text{Tl}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ , where  $x$  equals to 0.1, 0.2,... 1.0 by using *EXCITING*, a software that does calculations using Density Functional Theory (DFT) and Full-Potential Linearised Augmented Planewave (FP-LAPW). The  $\text{Tl}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  compound which initially has the properties of a direct semiconductor when  $x$  equals to 0.1, shows the properties of an indirect semiconductor for the values of  $x$  from 0.2 to 0.5, and then becomes semimetal for the values of  $x$  from 0.6 to 1.0. The energy gap decreases from 0.322 eV to 0.291 eV for  $x$  from 0 to 0.1, decreases from 0.252 eV to 0.018 eV for  $x$  from 0.2 to 0.5, and then decreases from -0.06 eV to -0.373 eV for  $x$  from 0.6 to 1.0.



## KANDUNGAN

Muka Surat

PENGAKUAN	ii	
PENGESAHAN	iii	
PENGHARGAAN	iv	
ABSTRAK	v	
ABSTRACT	vi	
SENARAI KANDUNGAN	vii	
SENARAI JADUAL	ix	
SENARAI RAJAH	x	
SENARAI SIMBOL	xii	
<b>BAB 1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1	Pengenalan	1
1.2	Tujuan Kajian	3
1.3	Objektif Kajian	3
1.4	Skop Kajian	4
<b>BAB 2</b>	<b>ULASAN LITERATUR</b>	<b>5</b>
2.1	Galium Antimonida, GaSb	5
2.2	<i>Full Potential Linearised Augmented Planewave (FP-LAPW)</i>	7
2.3	Teori	7
2.3.1	Semikonduktor	7
2.3.2	Semikonduktor Langsung dan Tak Langsung	9
2.3.3	Teori Jalur Tenaga Pepejal ( <i>Band Theory of Solids</i> )	10
2.3.4	Jurang Tenaga ( <i>Energy Gap</i> )	11
2.3.5	Struktur Jalur Tenaga ( <i>Band Structure</i> )	12
2.3.6	Bahan Separuh Logam	14
2.3.7	<i>EXCITING</i>	16
2.3.8	Rumus Nilai Pemalar Kekisi, $a$	16
2.3.9	Hukum Vegard	17





<b>BAB 3</b>	<b>KAEDAH KAJIAN</b>	<b>18</b>
3.1	Pengenalan	18
	3.1.1 Fail Input	18
3.2	Langkah Kajian	20
	3.2.1 Rajah Struktur Jalur Tenaga GaSb	20
	3.2.2 Rajah Struktur Jalur Tenaga TlSb	22
	3.2.3 Menjalankan Kod <i>EXCITING</i>	24
	3.2.2 Memproses Fail Output	25
	3.2.2 Rajah Struktur Jalur Tenaga TlGaSb	30
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISIS DATA</b>	<b>32</b>
4.1	Pengenalan	32
4.2	Keputusan	33
	4.2.1 Galium Antimonida, GaSb	36
	4.2.2 Talium Galium Antimonida, $Tl_{0.1}Ga_{0.9}Sb$	38
	4.2.3 Talium Galium Antimonida, $Tl_{0.2}Ga_{0.8}Sb$	40
	4.2.4 Talium Galium Antimonida, $Tl_{0.6}Ga_{0.4}Sb$	42
	4.2.5 Talium Antimonida, TlSb	44
4.3	Analisis Data	46
<b>BAB 5</b>	<b>PERBINCANGAN</b>	<b>50</b>
5.1	Pengenalan	50
5.2	Penggunaan Istilah dan Singkatan	51
5.3	Pecahan Unsur Tl dan Ga dalam TlGaSb	52
5.4	Ralat dalam <i>EXCITING</i>	53
5.5	Ralat Dalam Pengiraan	54
	5.5.1 Pengiraan Untuk Mendapatkan Nilai Pemalar Kekisi $\alpha$	54
	5.5.2 Pengiraan Untuk Pertukaran Unit	54
5.6	Perubahan Ciri-Ciri Sebatian TlGaSb	55
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>56</b>
	RUJUKAN	57
	LAMPIRAN	60



## SENARAI RAJAH

No. Rajah	Muka Surat
2.1 Struktur hablur <i>zinc blende</i> untuk galium antimonida, GaSb	5
2.2 Struktur jalur tenaga bahan GaSb	6
2.3 Jurang tenaga untuk semikonduktor langsung	9
2.4 Jurang tenaga untuk semikonduktor tak langsung	10
2.5 Jalur tenaga dalam pepejal	11
2.6 Struktur jalur tenaga untuk semikonduktor	12
2.7 Gambaran ringkas struktur jalur tenaga untuk logam, semikonduktor dan penebat	13
2.8 Perbandingan jalur tenaga untuk bahan semikonduktor langsung, semikonduktor tak langsung dan separuh logam.	15
3.1 Blok arahan <i>avec</i> bagi bahan GaSb	21
3.2 Blok arahan <i>atoms</i> bagi bahan GaSb	22
3.3 Blok arahan <i>avec</i> bagi bahan TlSb	23
3.4 Blok arahan <i>atoms</i> bagi bahan TlSb	24
3.5 Konsol <i>coLinux</i>	25
3.6 Tetingkap <i>Midnight Commander</i>	26
3.7 Struktur jalur tenaga GaSb daripada output <i>EXCITING</i>	27
3.8 Struktur jalur tenaga GaSb daripada rujukan	28
3.9 Tetingkap <i>Format Axis</i>	29
3.10 Graf yang telah diperbesarkan	29
4.1 Plot-plot struktur jalur untuk GaSb, TlGaSb dan TlSb	33-35
4.2 Struktur jalur tenaga GaSb	36
4.3 Struktur jalur tenaga GaSb yang telah diperbesarkan	37
4.4 Struktur jalur tenaga $Tl_{0.1}Ga_{0.9}Sb$	38
4.5 Struktur jalur tenaga $Tl_{0.1}Ga_{0.9}Sb$ yang telah diperbesarkan	39



**SENARAI JADUAL**

No. Jadual	Muka surat
2.1 Bahan semikonduktor di dalam jadual berkala	8
2.2 Beberapa contoh bahan semikonduktor	8
3.1 Pecahan unsur Tl dan Ga dalam bahan TlGaSb	30
4.1 Ringkasan keputusan kajian	46
4.2 Jadual nilai $x$ dan $E_g$	47



4.6	Struktur jalur tenaga $\text{Tl}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Sb}$	40
4.7	Struktur jalur tenaga $\text{Tl}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Sb}$ yang telah diperbesarkan	41
4.8	Struktur jalur tenaga $\text{Tl}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{Sb}$	42
4.9	Struktur jalur tenaga $\text{Tl}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{Sb}$ yang telah diperbesarkan	43
4.10	Struktur jalur tenaga $\text{TlSb}$	44
4.11	Struktur jalur tenaga $\text{TlSb}$ yang telah diperbesarkan	45
4.12	Graf perubahan nilai jurang tenaga $E_g$ terhadap perubahan pecahan unsur talium, Tl	48
4.13	Graf perubahan nilai jurang tenaga $E_g$ terhadap perubahan pecahan unsur talium, Tl yang disertakan dengan <i>trendline</i>	49





**SENARAI SIMBOL**

$E$	tenaga
$E_g$	jurang tenaga
$E_c$	tenaga pada jalur konduksi
$E_v$	tenaga pada jalur valens
$\Omega$	ohm
cm	sentimeter
eV	elektron volt
$\mu$	mikro
$a$	pemalar kekisi
$M$	jisim molekul
$M_A$	jisim molekul bagi unsur A
$M_B$	jisim molekul bagi unsur B
$\text{\AA}$	angstrom
K	kelvin



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 PENGENALAN

Bahan semikonduktor telah sekian lama menjadi elemen penting dalam kemajuan teknologi sekarang, dan penggunaannya semakin meningkat hari demi hari. Bahan ini digunakan secara meluas dalam pembuatan litar bersepadu (*integrated circuit/IC*) untuk peranti-peranti elektronik yang menjadi sebahagian daripada gaya hidup masa kini. Ketiadaan litar bersepadu boleh menyebabkan pelbagai peranti elektronik seperti komputer, telefon bimbit, televisyen, dan pelbagai lagi peranti perhubungan tidak dapat dihasilkan. Kemajuan dalam penghasilan litar bersepadu ini juga bermakna kos untuk menghasilkan peranti-peranti tersebut berkurangan, secara langsung mengurangkan beban pengguna untuk menggunakan teknologi terkini (Blügel & Bihlmayer, 2006).



Kajian tentang ciri-ciri bahan semikonduktor adalah penting untuk menentukan tahap keberkesanan dan kesesuaian bahan tersebut untuk digunakan secara komersial, terutamanya bahan yang baru atau masih belum digunakan secara meluas. Permintaan terhadap peningkatan tahap keberkesanan penggunaan sumber dan tenaga bermakna pemahaman tentang ciri-ciri bahan ini perlu dikuasai.

Ciri-ciri yang membezakan semikonduktor dengan bahan-bahan lain berkenaan dengan perilaku elektron-elektron dalam semikonduktor tersebut, terutamanya kewujudan jurang di dalam spektrum pengujian elektron (Peter Y, 1999).

Takrifan semikonduktor secara ringkasnya ialah satu bahan yang mempunyai rintangan elektrik dalam lingkungan  $10^{-2}$  hingga  $10^9 \Omega\text{cm}$ . Dengan kata lain, ia boleh ditakrifkan sebagai bahan yang mempunyai jurang tenaga (*energy gap*) untuk pengujian elektron di antara sifar hingga 3 eV (*electron volts*). Bahan yang tidak mempunyai jurang tenaga adalah logam dan bahan separuh logam, manakala bahan yang mempunyai jurang tenaga lebih daripada 3 eV dikenali sebagai penebat.

Bahan semikonduktor wujud dalam pelbagai komposisi kimia dan struktur kristal yang berbeza. Ia boleh wujud dalam bentuk semikonduktor *elemental* seperti silikon (Si), atau *binary* seperti galium arsenida (GaAs). Untuk projek ini, ciri-ciri bahan talium galium antimonida (TlGaSb), iaitu bahan semikonduktor *ternary* akan dikaji menggunakan kaedah pengiraan numerikal.



## 1.2 TUJUAN KAJIAN

Tujuan kajian ini adalah untuk mengkaji ciri-ciri elektronik sebatian talium galium antimonida, TlGaSb, iaitu struktur jalur tenaga (*energy band structure*), jurang tenaga (*band gap*) dan jenis bahan tersebut dengan menggunakan kaedah *full potential linearised augmented planewave* (FP-LAPW) melalui kod *EXCITING*.

## 1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif yang mahu dicapai daripada kajian ini adalah:

1. Memahami konsep-konsep dan teori-teori berkaitan dengan bahan semikonduktor.
2. Memplot rajah struktur jalur tenaga (*energy band structure*) bahan galium antimonida, GaSb dan talium antimonida, TlSb, berdasarkan output yang diperolehi dari perisian *EXCITING*.
3. Menggabungkan hasil dari struktur jalur tenaga bagi galium antimonida, GaSb dan talium antimonida, TlSb untuk memplot struktur jalur tenaga talium galium antimonida, TlGaSb.
4. Mendapatkan jurang tenaga untuk bahan galium antimonida, GaSb, talium antimonida, TlSb, dan talium galium antimonida, TlGaSb berdasarkan rajah struktur jalur tenaga yang diplot.
5. Mengenalpasti jenis bahan talium galium antimonida, TlGaSb dari segi kekonduksian berdasarkan rajah struktur jalur tenaga dan jurang tenaga untuk bahan tersebut.





#### 1.4 SKOP KAJIAN

Ciri-ciri elektronik seperti struktur jalur tenaga, jurang tenaga dan jenis bahan talium galium antimonida, TlGaSb, akan dikaji untuk pertambahan pecahan unsur talium, Tl, dalam  $Tl_xGa_{1-x}Sb$ , di mana  $x$  adalah dari 0% hingga 100%.

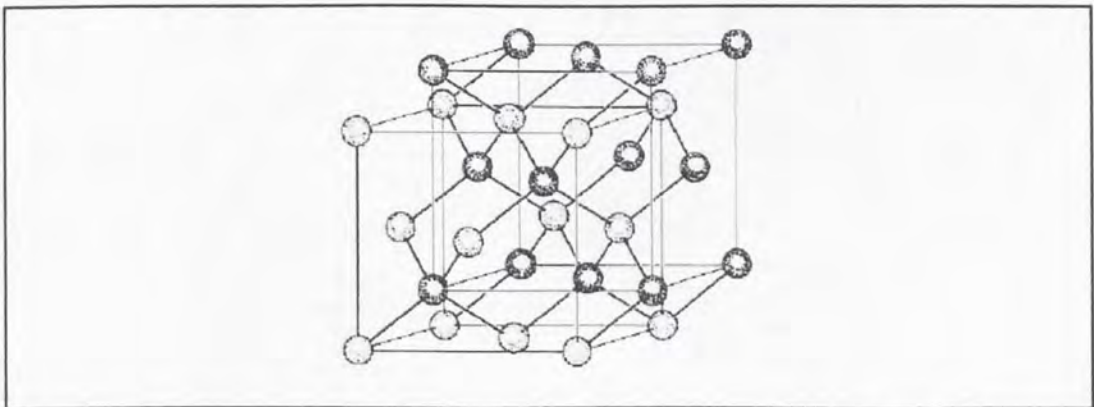


## BAB 2

### ULASAN LITERATUR

#### 2.1 GALIUM ANTIMONIDA, GaSb

Menurut Nahirnyak (2002), kekisi kristal bahan galium antimonida, GaSb adalah *zinc blende* dan terdiri daripada dua sub-kekisi (*sublattice*) yang dibentuk oleh atom-atom galium, Ga dan talium, Tl seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1.

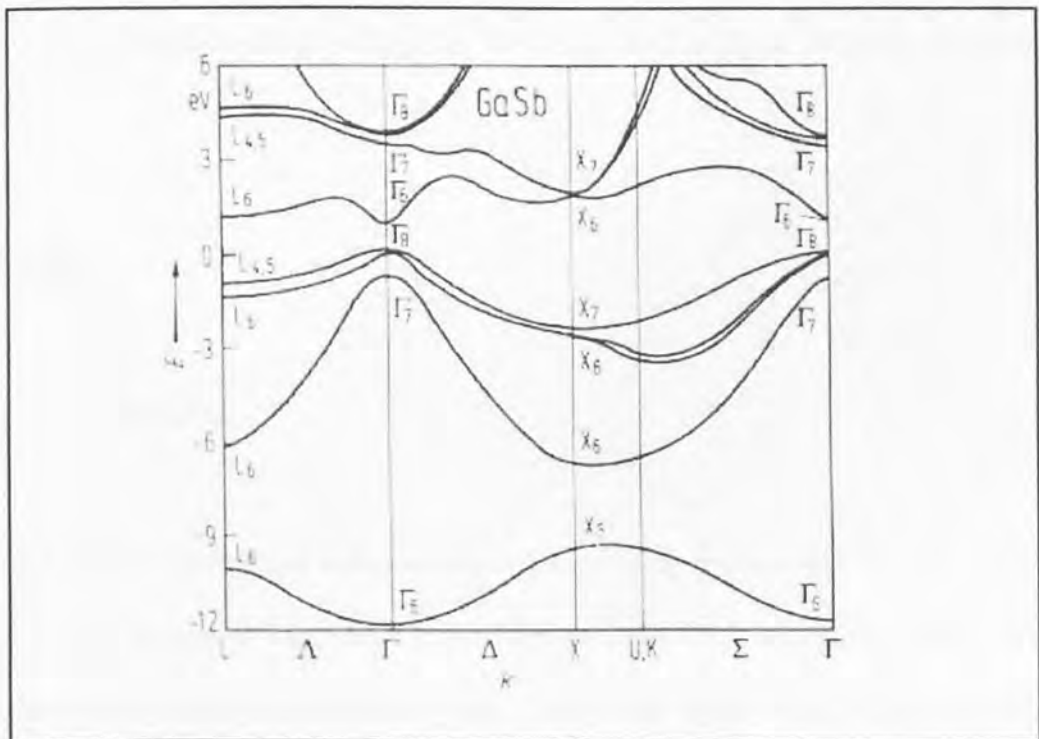


**Rajah 2.1** Struktur hablur *zinc blende* untuk galium antimonida, GaSb

(Nahirnyak, 2002).

Kristal GaSb mempunyai ketumpatan  $5.61 \text{ gcm}^{-3}$  dan pemalar kekisi  $a_0$  yang bersamaan dengan  $6.09593 \text{ \AA}$  dan titik lebur  $T = 985 \text{ K}$ . Struktur *zinc blende* adalah berasaskan struktur kekisi berlian tetapi dengan dua atom yang berbeza. Daya ikatan dalam bahan semikonduktor sedemikian biasanya sebahagian kovalen dan sebahagian lagi ionik (Nahirnyak, 2002).

Jalur konduksi dalam GaSb dicirikan oleh tiga set minima; yang terendah pada titik-titik  $\Gamma$ , minima yang lebih tinggi pada titik-titik L dan minima yang paling tinggi pada titik-titik X. Jalur valens pula mempunyai struktur yang biasa untuk kesemua semikonduktor *zinc blende* seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



**Rajah 2.2** Struktur jalur tenaga bahan GaSb (Nahirnyak, 2002).

## 2.2 FULL-POTENTIAL LINEARISED AUGMENTED PLANEWAVE (FP-LAPW)

Kaedah *Full Potential Linearised Augmented Planewave (FP-LAPW)* muncul sebagai satu teknik struktur elektronik *ab initio* atau prinsip pertama yang jitu dengan keberkesanan pengiraan yang munasabah untuk melakukan simulasi ciri-ciri elektronik bahan berdasarkan teori fungsi ketumpatan atau *density functional theory (DFT)*. Kaedah ini diterima ramai kerana mempunyai kadar kejituan yang tinggi (Blügel & Bihlmayer, 2006).

Kaedah *FP-LAPW* merupakan algoritma untuk semua elektron (*all-electron algorithm*) dan boleh diaplikasi pada semua atom di dalam jadual berkala unsur, terutamanya logam-logam peralihan dan lantanida (*lanthanides*) (Blügel & Bihlmayer, 2006).

## 2.3 TEORI

### 2.3.1 Semikonduktor

Semikonduktor merupakan satu kumpulan bahan yang mempunyai ciri-ciri pengalir yang berada di antara kumpulan logam dan penebat. Dua kumpulan utama bahan semikonduktor ialah semikonduktor asas, iaitu satu unsur yang berada di dalam kumpulan IV jadual berkala unsur, dan juga semikonduktor sebatian, di mana ia terhasil dari gabungan unsur-unsur kumpulan III dan kumpulan V.





Jadual 2.1 menunjukkan sebahagian daripada jadual berkala unsur yang mengandungi bahan semikonduktor, manakala Jadual 2.2 menunjukkan beberapa contoh bahan semikonduktor.

**Jadual 2.1** Bahan semikonduktor di dalam jadual berkala (Colinge, 2006).

<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
B	C	N
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In	-	Sb
Tl	-	-

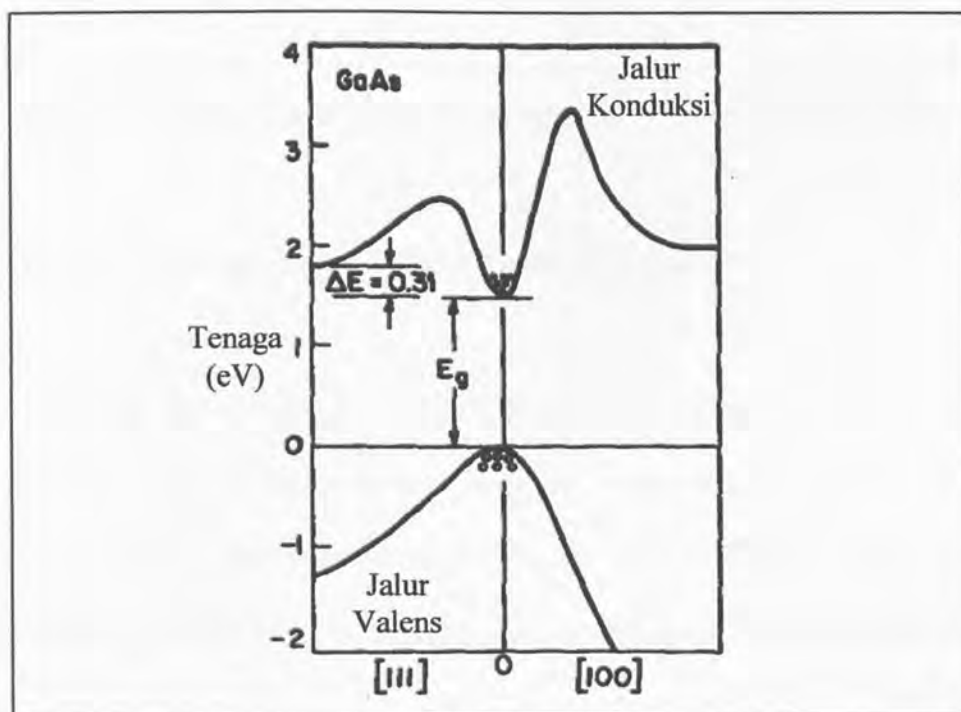
**Jadual 2.2** Beberapa contoh bahan semikonduktor.

<b>Semikonduktor asas</b>	
Si	Silikon
Ge	Germanium
<b>Semikonduktor sebatian</b>	
AlP	Aluminium fosfida
AlAs	Aluminium arsenida
GaP	Galium fosfida
GaAs	Galium arsenida
InP	Indium fosfida

### 2.3.2 Semikonduktor Langsung dan Tak Langsung

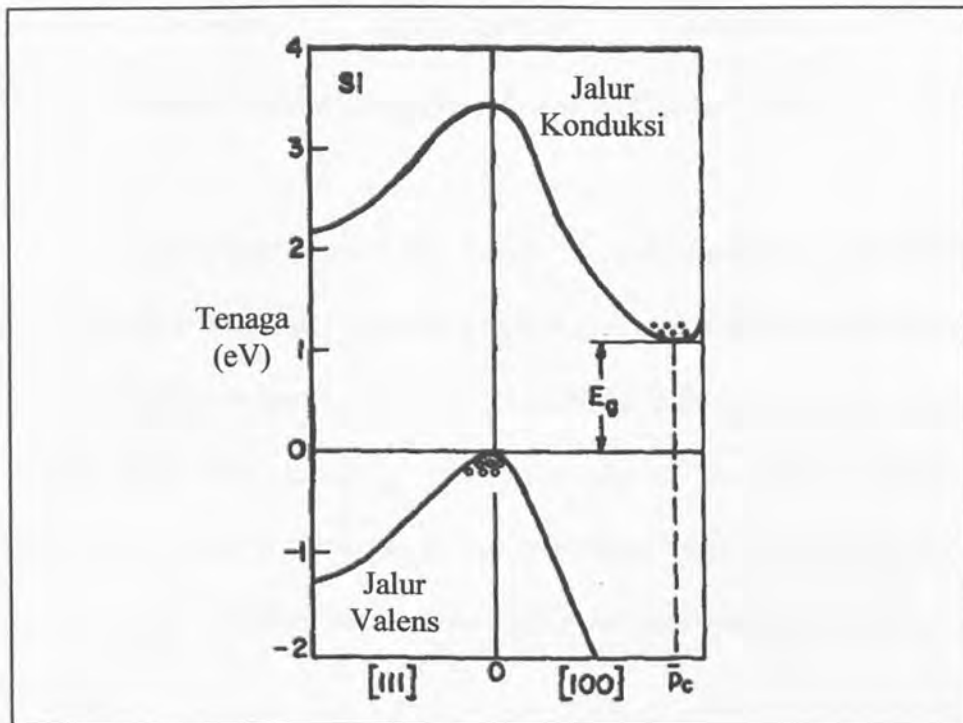
Semikonduktor langsung (*direct semiconductor*) dan semikonduktor tak langsung (*indirect semiconductor*) merujuk kepada jurang tenaga (*band gap*) bahan tersebut. Jurang tenaga mewakili perbezaan tenaga minimum di antara bahagian bawah jalur konduksi (*conduction band*) dan bahagian atas jalur valens (*valence band*). Walaubagaimanapun, bahagian atas jalur valens tidak semestinya berada pada nilai momentum elektron yang sama dengan bahagian bawah jalur konduksi.

Untuk bahan semikonduktor jenis langsung, nilai tenaga maksimum untuk jalur valens dan nilai tenaga minimum untuk jalur konduksi berada pada nilai momentum yang sama, seperti yg ditunjukkan dalam Rajah 2.3 iaitu struktur tenaga untuk galium arsenida, GaAs (Sze, 2002).



Rajah 2.3 Jurang tenaga untuk semikonduktor langsung (Sze, 2002).

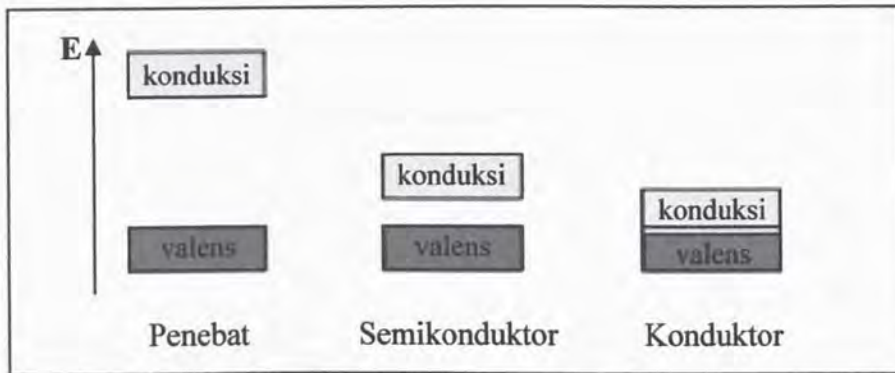
Untuk bahan semikonduktor jenis tak langsung, nilai tenaga maksimum untuk jalur valens dan nilai tenaga minimum untuk jalur konduksi berada pada nilai momentum yang berlainan, seperti yg ditunjukkan dalam Rajah 2.4 iaitu struktur tenaga untuk silikon, Si (Sze, 2002).



Rajah 2.4 Jurang tenaga untuk semikonduktor tak langsung (Sze, 2002).

### 2.3.3 Teori Jalur Tenaga Pepejal (*Band Theory Of Solids*)

Perbezaan yang wujud di antara konduktor, penebat dan semikonduktor boleh digambarkan dengan memplot tenaga yang ada untuk elektron-elektron di dalam bahan-bahan tersebut. Paras-paras tenaga yang ada akan membentuk “jalur” (*bands*), di mana kehadiran elektron di dalam jalur tersebut mempengaruhi kadar pengaliran.



**Rajah 2.5** Jalur tenaga dalam pepejal (Colinge, 2006).

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5, elektron-elektron di dalam jalur konduksi dan jalur valens untuk penebat terpisah jauh manakala jalur-jalur konduktor (seperti logam) saling bertindih. Untuk semikonduktor pula, jurang antara kedua-dua jalur adalah kecil dan sebarang pengujaan seperti pengujaan termal boleh menghubungkan jalur-jalur tersebut. Kadar pengaliran bahan semikonduktor boleh ditingkatkan dengan kehadiran bahan dop (*doping material*) pada jurang yang kecil itu (Colinge, 2006).

#### 2.3.4 Jurang Tenaga (*Energy Gap*)

Jurang tenaga (*energy gap* atau *band gap*) merujuk kepada perbezaan tenaga di antara bahagian atas jalur valens (*valence band*) dan bahagian bawah jalur konduksi (*conduction band*), di mana elektron-elektron boleh berpindah dari satu jalur ke jalur yang lain seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Nilai jurang tenaga pula diperolehi dari Persamaan 2.1.

$$E_g = E_c - E_v \quad (2.1)$$





## RUJUKAN

- Adachi, S. 2005, *Properties of Group-IV, III-V and II-VI Semiconductors*. John Wiley & Sons, inc., West Sussex, England.
- Grotendorst, J., Blügel, S., Marx, D (eds.). 2006. Full-Potential Linearized Augmented Planewave Method. *Computational Nanoscience: Do It Yourself!* **31**: ms. 85-129.
- Dewan Bahasa dan Pustaka, 2006. *Khidmat Nasihat Dewan Bahasa dan Pustaka*. [http://sbmb.dbp.gov.my/knb/cariankata/dbp\\_nb\\_carian\\_kata\\_istilah.aspx](http://sbmb.dbp.gov.my/knb/cariankata/dbp_nb_carian_kata_istilah.aspx)
- Dewhurst, K., Sharma, S., Ambrosch-Dahl, C. 2007. *The EXCITING Code Manual* (Tidak diterbitkan).
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. 2005. *Fundamentals Of Physics 7th Ed*. John Wiley & Sons, Inc. New York, United States of America.
- Isaacs, A. (eds.). 2000. *Oxford Dictionary of Physics*. Oxford University Press Inc., New York, United States of America.
- Islam, S.S. 2006. *Semiconductor Physics and Devices*. Oxford University Press, New Delhi, India.



Kittel, C. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. 7th Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, United States of America.

Nahirnyak, V. 2002. *Gallium Antimonide (GaSb)*. Department of Physics, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio.

Parker, S.P. (eds.). 1988. *Solid-State Physics Source Book*. McGraw-Hill Inc. New York, United States of America.

R.K. Puri, V.K. Babbar, C.J. 2003. *Solid State Physics & Electronics*. S. Chand & Company Ltd., Ram Jahar, New Delhi, India.

Razeghi, M., 2003. Overview of antimonide based III-V semiconductor epitaxial layers and their applications at the center of quantum devices. *The European Physical Journal, Applied Physics*. **23**: 149-205.

Sze, S.M. 2002, *Semiconductor Devices*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, United States of America.

Udayanshankar, N.K., Bhat, H.L., 2001. Growth and characterization of indium antimonide and gallium antimonide crystals. *Bull. Mater. Sci*. **24** (5): 445-453.



Yu, P.Y. & Cardona, M. 1999. *Fundamentals of Semiconductors* Physics and Materials Properties. 2nd Ed. Springer, Berlin.

Zaoul, A., El Haj Hassan, F. 2000. Full Potential Linearized Augmented Plane Wave Calculations of Structural and Electronic Properties of BN, BP, BAs and BSb. *Journal of Physics: Condensed Matter*. **13** (2003): 253-262.

