



N° d'ordre :...../2016

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté des Sciences

Département de Physique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Domaine : **Sciences de la matière**

Filière : **Physique**

Option : **Physique Appliquée : Physique des matériaux intelligents**

Par

KARIMA Guerra

THEME

**L'effet de la température sur les propriétés électroniques et
optiques des semi-conducteurs III-V**

Soutenue le : 04/06/2016

Devant le jury composé de :

S.SAIB	Prof Univ. de M'sila	Président
N.BOUARISSA	Prof Univ. de M'sila	Rapporteur
F.MEZRAG	MCB Univ. de M'sila	Examineur

Promotion Juin 2016

Remerciement

Remerciement

Je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

J'adresse mes vifs remerciements à mon Encadreur Professeur Nadir Bouarissa pour m'avoir constamment guidé tout le long de mon projet et pour les précieux conseils qu'elle m'a donné, et pour sa serviabilité, sa disponibilité et ses conseils constructifs.

Je tiens à remercier, le président de jury, Mezrag Fadila et l'examineur, Mme Saib Salima, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Je ne pourrais jamais oublier le soutien moral, l'aide et l'encouragement de mon mère et mon père, en un mot, merci pour leur amitié précieuse.

Enfin, je destine mes derniers remerciements à ma famille surtout mon frère AHEMAD et SAAD.

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

A ma mère et mon père

A mes sœurs et A mes frères

A toute famille Guerra

A mes chers parents

A ceux que j'aime

Tables des matières

Remerciement..... I
 Dédicace II
 Tables des matières III
 Introduction Générale..... 1

Chapitre I : Généralité sur les semi-conducteurs

I-1) Introduction 2
I-2) Isolant, semi-conducteur, conducteur..... 2
I-3) Définition des semi-conducteurs..... 3
I-4) Quelques notions des semi-conducteurs 4
I-4-1) La conductivité électrique des semi-conducteurs..... 4
I-4-2) La notion d'électron – trous dans les semi-conducteurs..... 5
I-4-3) Conduction par électron et par trou..... 5
I-4-4) Les différents types des semi-conducteurs..... 6
 1-4-4-1) Les semi-conducteurs intrinsèques..... 6
 1-4-4-2) Les Semi-conducteurs extrinsèques..... 6
 1-4-4-2-1) Les Semi-conducteurs extrinsèques dopés N..... 6
 1-4-4-2-2) Les Semi-conducteurs extrinsèques dopés P..... 7
1-4-5) La classification des Semi-conducteur..... 9
I-5) Définition des semi-conducteurs binaires 10
I-6) Conclusion..... 11

Chapitre II: Propriétés électroniques et optiques des semi-conducteurs: effet de la température

II-1) Introduction 12
II-2) Propriétés structurales..... 12
II-2-1) Structure Zinc Blende..... 12
II-2-2) La constante de maille 13

II-3) Les propriétés électroniques des semi-conducteurs III-V	13
II-3-1) BANDES D'ENERGIE	14
II-3-2) Gap direct – Gap indirect	14
II-4) Propriétés optiques	15
II-4-1) L'interaction rayonnement-matière	16
Interaction rayonnement - semi-conducteur	16
II-4-3) Les ondes électromagnétiques	17
II-4-4) Le spectre électromagnétique	17
II-4-5) L'absorption fondamentale de la lumière	18
II-5) L'indice de réfraction	19
II-5) Les caractéristiques optiques des matériaux	20
II-6-2) La relation entre un diélectrique et l'indice de réfraction	21
II-6-3) La réflexion optique	22
II-7) l'effet de la température	22
II-8) Conclusion	24

Chapitre III : Résultats et discussions

III-1) L'efft de la température sur les propriétés électroniques	25
III-1-1) la bande interdite énergétique E_g	25
III-1-2) L'équation de Varshni	25
III-1-3) Modèle de Bose-Einstein	26
III-2) Effet de la température sur Les propriétés optiques	34
III-2-1) Indice de réfraction	34
III-3) L'efft de la température sur les propriétés diélectriques	42
III-3-1) La constante diélectriques de haute fréquence (ϵ_∞)	42

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des Figures et des Tableaux

Figure :

Figure I-1 : Représentation des bandes d'énergie	2
Figure I-2 : La dualité de la conductivité électrique dans les semi-conducteurs	4
Figure I-3 : Semi-conducteur intrinsèque	5
Figure I-4 : Les semi-conducteurs extrinsèques type N	6
Figure I-5 : Les semi-conducteurs extrinsèques type P	7
Figure I.6 Semi-conducteur:	8
FigureII-1 : Structure zinc blende.....	12
Figure II-2: La maille élémentaire	13
Figure II-3: Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs	14
Figure II-4: Structure de bande d'énergie du : A-gap indirect et B-gap direct	15
Figure II-5: les transitions optiques directes et indirectes	16
Figure II-6: Les effets du rayonnement sur les différents matériaux	16
Figure II-7: L'onde électromagnétique.....	17
Figure II-8: Le spectre électromagnétique.....	17
Figure II-9: L'absorption fondamentale de la lumière par les porteurs.	18
Figure II-10: L'indice de réfraction d'un matériau.....	18
Figure II-11: La relation entre l'optique et le diélectrique.	22
Figure III-1: Variation du gap direct ($\Gamma - \Gamma$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.....	28
Figure III-2: Variation du gap direct ($\Gamma - X$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.	29
Figure III-3 : Variation du gap direct ($\Gamma - L$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.....	30
Figure III-4 : Variation du gap direct ($X - X$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.	31
Figure III-5 : Variation du gap direct ($L - L$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.....	32

Figure III-6 : Variation du gap direct ($\Gamma - \Gamma$), ($X - X$) et ($L - L$), et des gaps indirects ($\Gamma - X$), ($\Gamma - L$) en fonction de la température en utilisant le modèle de Varshni pour InSb.....33

Figure III-7 : Variation du gap direct ($\Gamma - \Gamma$), ($X - X$) et ($L - L$) et des gaps indirects ($\Gamma - X$) et ($\Gamma - L$), en fonction de la température en utilisant le modèle de Bose-Einstein pour InSb.....34

Figure III-8 : Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.....38

Figure III-9 : Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.39

Figure III-10 : Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.40

Figure III-11: Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.....41

Figure III-12: Variation de l'indice de réfraction n en fonction de la température du InSb pour quatre relations et le graphe(a) pour l'équation de Varshni et le graphe (b) pour l'équation Bose-Einstein.....42

Figure III-13: Variation de (ϵ_{∞}) en fonction de la température en utilisant le modèle de varshni.....44

Figure III-14 Variation de (ϵ_{∞}) en fonction de la température en utilisant le modèle de Bose-Einstein.....45

Tableaux :

Tableau I-1) La liste de certains semi-conducteurs.....9

Tableau I-2) Morceaux choisis du tableau périodique (en gras : éléments III, V, II et VI).....10

Tableau II-1) Constantes diélectriques statique et optique de quelques matériaux Semi-conducteurs à 300 K.....21

Tableau III.1 Les paramtres α , β , E_B , a_B et θ utilisés dans les modèles de Varshni et Bose-Einstein.....26

Tableau III-2) Valeurs des gaps d'énergies de semi-conducteur InSb utilisées pour le modèle de Varshni et Bose-Einstein.....27

TableauIII-3) Calcul d' indice des réfraction de semi-conducteur InSb pour en utilisent Les modèles de Varshn et Bose-Einsteini en fonction de la température37

TableauIII-4) Calcule de la constante diélectrique de haute fréquence (ϵ_∞) pour InSb en fonction de la température.....43

Liste des Figures et des Tableaux

Tableau III-3 : L'indice de réfraction des composés semiconducteurs calculé à partir des six modèles à T=300k et leurs paramètres de maille à T=300k.....24

Tableau III-4: La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle Moss et l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-7), (III-8) et (III-9) Pour les Composés II-VI et III-V.....37

Tableau III-5: La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle le modèle de Gupta et Ravindra et l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-10), (III-11) et (III-12) Pour les composés II-VI et III-V.....38

Tableau III-6 : La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle Hervé et vandamme et l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-13), (III-14) et (III-15) Pour les composés II-VI et III-V.....39

Tableau III-7: La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle Reddy et Anjaneyulun l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-16), (III-17) et (III-18) Pour les composés II-VI et III-V.....40

Tableau III-8: La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle Ravindra et l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-19), (III-20) et (III-21) Pour les composés II-VI et III-V.....41

Tableau III-9: :La comparaison entre l'indice réfraction calculé par le modèle Reddy et Ahmmed et l'indice réfraction calculé d'après les équations (III-22), (III-23) et (III-24) Pour les composés II-VI et III-V.....42

Introduction Générale

Les composés semi-conducteurs binaires sont considérés comme une classe importante des matériaux et cela grâce à la richesse de leur propriétés électroniques, optiques, structurales, et diélectriques qui sont des paramètres importants et jouent un rôle majeur dans les composants optoélectronique [1].

L'antimoniure d'indium (InSb) est un composé semi-conducteur III-V constitué d'antimoine et d'indium. C'est un composé à gap étroit utilisé comme détecteur infrarouge, notamment en imagerie thermique, dans les systèmes de guidage autodirecteur infrarouge et en θ Les détecteurs à base d'antimoniure d'indium sont sensibles aux longueurs d'ondes comprises entre 1 et 5 μm .

Dans ce présent travail nous avons examiné les propriétés électroniques et optiques ainsi que la constante diélectrique à haute fréquence du semi-conducteur binaire InSb dans la phase zinc-blende. Le but de ce présent travail est d'étudier l'effet de la température sur les propriétés électroniques et optiques du semi-conducteur InSb. Nous présentons les variations de chacune de ces paramètres liés à ces propriétés en fonction de la température.

Le mémoire est organisé de la façon suivante :

Dans le premier chapitre nous présenterons une généralité sur les semi-conducteurs.

Dans le second chapitre, nous essayerons de donner quelques généralités sur les propriétés physiques des semi-conducteurs, notamment, les propriétés électroniques et optiques des matériaux semi-conducteurs III-V ainsi que l'effet de la température sur les propriétés des semi-conducteurs.

Nos résultats sont exposés et discutés dans le troisième chapitre. Notre travail est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralité sur les semi-conducteurs

I-1) Introduction

Les semi-conducteurs désignent les matériaux capables de relayer du courant électrique en ayant des propriétés physiques à mi-chemin entre le métal et l'isolant. Ce sont des éléments essentiels de l'électronique et de l'informatique modernes puisqu'ils permettent de contrôler à la fois la direction du courant et son intensité [2].

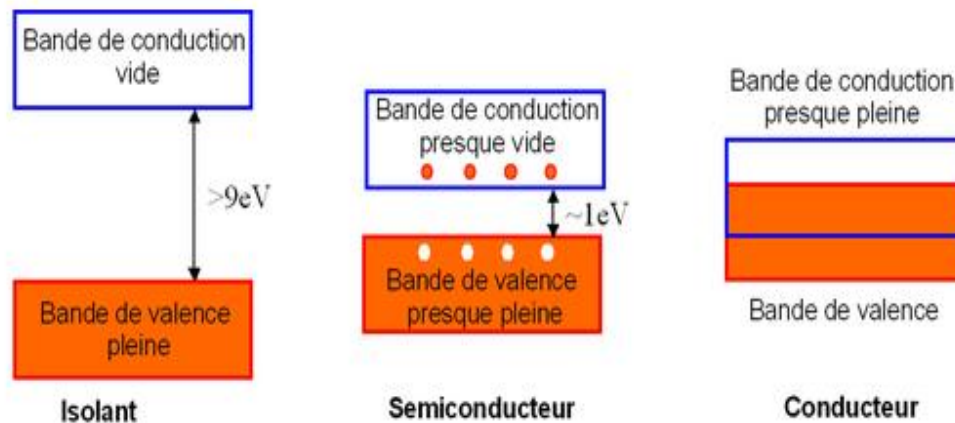
La famille des semi-conducteurs est très vaste puisqu'elle va des éléments de la colonne du tableau périodique IV et Ge aux composés de plusieurs colonnes tels que : binaires ternaires, et quaternaires.

Dans ce chapitre, nous allons rappeler les quelques propriétés physiques des matériaux semi-conducteurs InSb.

I-2) Isolant, semi-conducteur, conducteur

Les matériaux solides peuvent être classés en trois groupes que sont les isolants, les semi-conducteurs et les conducteurs. On considère comme isolants les matériaux de conductivité $\sigma < 10^{-8} \text{ s/cm}$ (diamant 10^{-14} s/cm), comme semi-conducteurs les matériaux tels que $10^{-8} \text{ s/cm} < \sigma < 10^3 \text{ s/cm}$ (silicium 10^{-5} s/cm à 10^3 s/cm) et comme conducteurs les matériaux tels que $10^3 \text{ s/cm} < \sigma$ (argent 10^6 s/cm).

Les propriétés électriques d'un matériau sont fonction des populations électroniques des différentes bandes permises. La conduction électrique résulte du déplacement des électrons à l'intérieur de chaque bande. Sous l'action du champ électrique appliqué au matériau l'électron acquiert une énergie cinétique dans le sens opposé au champ électrique. Considérons à présent une bande d'énergie vide, il est évident de par le fait qu'elle ne contient pas d'électrons, elle ne participe pas à la formation d'un courant électrique. Il en est de même pour une bande pleine. En effet, un électron ne peut se déplacer que s'il existe une place libre (un trou) dans sa bande d'énergie. Ainsi, un matériau dont les bandes d'énergie sont vides ou pleines est un isolant. Une telle configuration est obtenue pour des énergies de gap supérieures à $\sim 9 \text{ eV}$, car pour de telles énergies, l'agitation thermique à 300K, ne peut pas faire passer les électrons de la bande de valence à celle de conduction par rupture de liaisons électronique. Les bandes d'énergie sont ainsi toutes vides ou toutes pleines.



FigureI-1) Représentation des bandes d'énergie.

Un semi-conducteur est un isolant pour une température de 0K . Cependant ce type de matériau ayant une énergie de gap plus faible que l'isolant ($\sim 1\text{eV}$), aura de par l'agitation thermique ($T=300\text{K}$), une bande de conduction légèrement peuplée d'électrons et une bande de valence légèrement dépeuplée. Sachant que la conduction est proportionnelle au nombre d'électrons pour une bande d'énergie presque vide et qu'elle est proportionnelle au nombre de trous pour une bande presque pleine, on déduit que la conduction d'un semi-conducteur peut être qualifiée de «mauvaise».

Pour un conducteur, l'interpénétration des bandes de valence et de conduction implique qu'il n'existe pas d'énergie de gap. La bande de conduction est alors partiellement pleine (même aux basses températures) et ainsi la conduction du matériau est « élevée ».

I-3) Définition des semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un corps cristallin dont les propriétés de conductivité électrique sont intermédiaires entre celles des isolants et des conducteurs, elles varient sur plusieurs ordres de grandeur, sous l'effet de:

- la température
- l'éclairement
- la présence d'impuretés (dopage) [3]

I-4) quelque notion des semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau caractérisé par des propriétés physico-chimiques bien déterminées obéissant à des lois typiques évoquant l'ensemble des composants et dispositifs dont le fonctionnement est étroitement.

I-4-1) La conductivité électrique des semi-conducteurs

Dans le modèle classique, un corps est isolant s'il ne contient pas d'électrons mobiles. Dans un conducteur, des électrons sont peu liés aux noyaux et peuvent se déplacer dans le réseau cristallin. Si n est la densité des électrons libres, v leur vitesse moyenne, dans une barre de longueur L , de section S avec une tension V entre les extrémités, la densité de courant $J = I/S$ est égale à $J = n.e.v$. La vitesse des électrons est proportionnelle à la force à laquelle ils sont soumis donc au champ électrique $E = V/L$. Si μ désigne la mobilité, on a :
 $v = \mu.E$

$$J = n.e.\mu.E = \sigma.E = E/\rho$$

Le modèle classique a été remplacé par le modèle quantique des bandes d'énergie. Dans l'atome isolé les électrons occupent des niveaux d'énergie discrets. Dans un cristal, par suite des interactions entre les atomes, ces niveaux discrets s'élargissent et les électrons occupent des bandes d'énergie permises séparées par des bandes interdites. La répartition des électrons dans les niveaux obéit aux lois de la thermodynamique statistique. Au zéro absolu, seuls sont peuplés les niveaux de plus basse énergie. Dans les isolants, les bandes d'énergie les plus faibles sont entièrement pleines. La hauteur de la bande interdite est grande (≈ 5 eV). Il n'y a pas de niveaux d'énergie accessibles et pas de conduction. Par exemple, la résistivité du diamant est $\rho = 10^{12} \Omega.m$ et celle du mica varie entre $10^{10} \Omega.m$ et $10^{15} \Omega.m$. Dans les conducteurs, la dernière bande occupée est partiellement remplie : il existe beaucoup de niveaux disponibles et la conduction est grande. Pour des métaux bons conducteurs, on obtient : $\rho_{Ag} = 1,6.10^{-8} \Omega.m$; $\rho_{Cu} = 1,7.10^{-8} \Omega.m$; $\rho_{Al} = 2,8.10^{-8} \Omega.m$. Pour les semi-conducteurs, le taux de remplissage de la dernière bande occupée est soit très faible soit très important. La hauteur de la bande interdite est faible (≈ 1 eV). La conduction est faible et varie beaucoup avec la température.

I-4-2) La notion d'électron – trous dans les semi-conducteurs

Les porteurs libres intrinsèques dans un semi-conducteur est double, soit des électrons (charge négative) soit des trous (charge positive) dont le nombre n_i et p_i est fonction de la température la neutralité du matériau fait que n_i doit être égal à p_i comme le représente la figure ci – dessous [4].

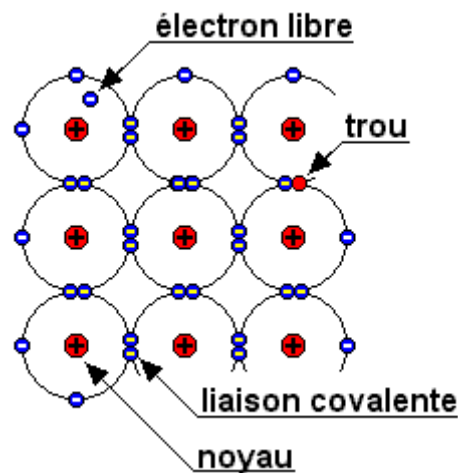


Figure I-2) La dualité de la conductivité électrique dans les semi-conducteurs [5].

Ce nombre est très faible comparé au nombre d'atomes par cristal, d'où la conductivité intrinsèque est considérée comme faible.

Le fait d'augmenter soit le nombre d'électrons soit le nombre des trous modifie énormément les propriétés électriques des semi-conducteurs.

I-4-3) Conduction par électron et par trou

Si une liaison de valence est brisée (agitation thermique, photon ...) l'électron devient mobile : il laisse un excès de charge positive le « trou » (symbolisé par un + dans un carré). Cette lacune va être comblée par un électron voisin libéré par agitation thermique et qui va à son tour laisser un trou : ceux-ci semblent se déplacer dans le réseau. Aux électrons (masse positive, charge négative) correspondent des trous (masse négative, charge positive). Le déplacement des trous étant un processus à deux étapes, leur mobilité dans le réseau est plus faible que celle des électrons. Trous et électrons constituent les porteurs libres intrinsèques dont le nombre est fonction de la température. La neutralité électrique du matériau impose que les trous et les électrons soient en nombres identiques (n_i et p_i).

La conductivité intrinsèque du matériau $\sigma = e (n_i \cdot \mu_n + p_i \cdot \mu_p)$ est très faible.

I-4-4) Les différents types des semi-conducteurs

1-4-4-1) Les semi-conducteurs intrinsèques

Ce sont des semi-conducteurs très purs et très bien cristallisés présentant un réseau cristallin parfaitement périodique tout en ayant un taux d'impuretés très faible (moins de 1 atome d'impureté pour 10^{13} atomes de l'élément semi-conducteurs) ils se comportent comme des isolants à très basse température et leur conductivité augmente avec la température, la figure ci-dessous donne un résumé global des semi-conducteurs intrinsèques du point de vue structure de bandes et distributions des charges [6].

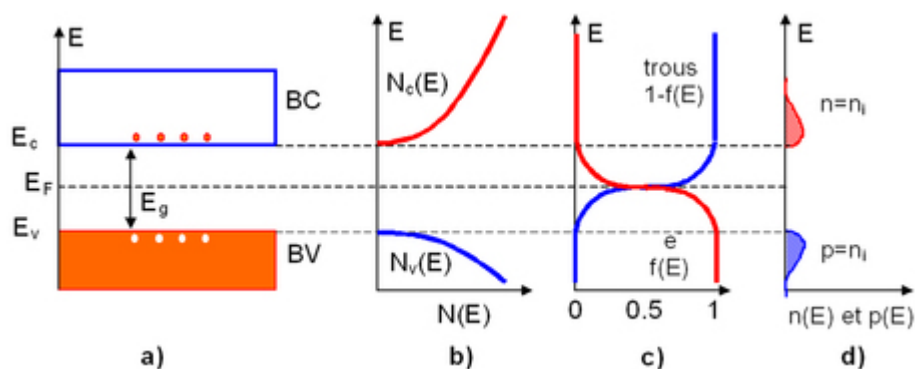


Figure I-3) Semi-conducteur intrinsèque.

Et: a) Diagramme des bandes d'énergie b) Densités d'états énergétique c) Distributions de Fermi-Dirac d) Densités énergétiques des porteurs (les densités des porteurs n et p correspondent aux surfaces hachurées) [7].

I-4-4-2) Les Semi-conducteurs extrinsèques

Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur intrinsèque dopé par des impuretés spécifiques lui conférant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc...) et optoélectroniques (émetteurs et récepteurs de lumière, etc...).

1-4-4-2-1) Les Semi-conducteurs extrinsèques dopés N

On introduit dans la matrice de silicium des atomes d'impuretés pentavalents tels que le phosphore P, l'arsenic As et l'antimoine Sb. Chaque atome d'impureté amène un électron de valence supplémentaire. Cet électron est peu lié au noyau ($E \approx 0,01$ eV) et passe aisément dans la bande de conduction. La conductivité du matériau (conductivité extrinsèque) devient à

cause du taux de dopage, très supérieure à celle du matériau pur. Les atomes pentavalents ou donneurs deviennent des ions positifs après le passage des électrons excédentaires dans la bande de conduction [8].

Ceci qui augmente considérablement la conductivité du matériau dopé les charges négatives (électrons) sont dits majoritaires, comme on peut le voir dans la figure suivante.

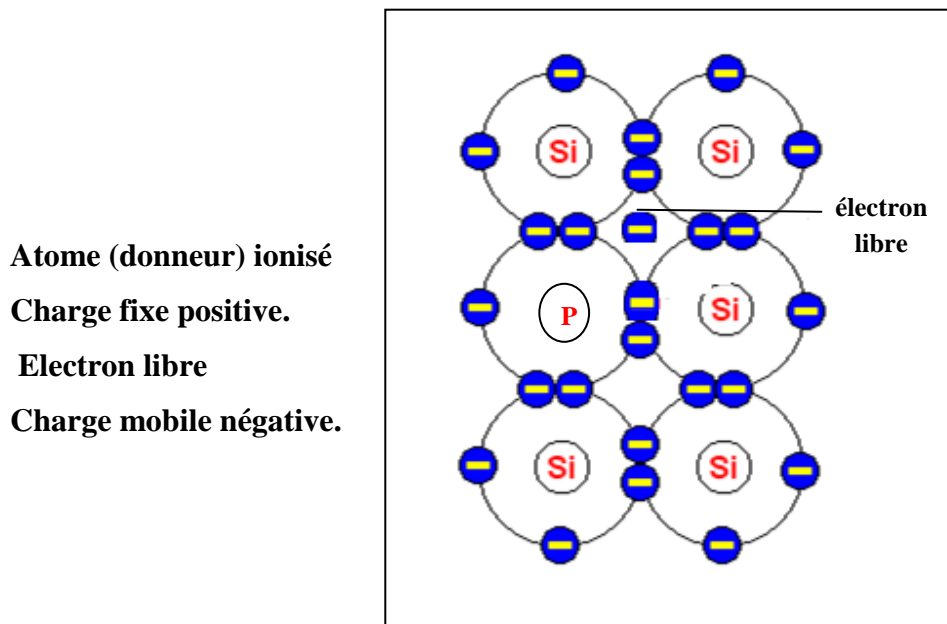


Figure I-4) Les semi-conducteurs extrinsèques type N [9].

Les données numériques montrent que le nombre des électrons dans le matériau, Fonction du taux de dopage, est supérieur au nombre des trous, fonction de la température, d'un facteur supérieur à 10^3 . La conduction dite de type N (négative) est assurée par des électrons. Les électrons sont les porteurs majoritaires [10].

1-4-4-2-2) Les Semi-conducteurs extrinsèques dopés P

Dans ce cas On introduit des atomes trivalents tel que : bore B, aluminium Al, gallium Ga, indium In. Il manque alors à l'impureté un électron de valence pour assurer les 4 liaisons avec les atomes de silicium voisins.

Un faible apport d'énergie ($E \approx 0,05$ eV) suffit pour qu'un électron d'un silicium voisin soit capté par l'impureté : il y a formation d'un trou peu lié et donc mobile.

Les atomes trivalents (accepteurs) deviennent des ions négatifs par capture d'un électron. Compte tenu des taux de dopage, ces trous sont beaucoup plus nombreux que les porteurs intrinsèques du cristal pur.

La conduction extrinsèque de type P (positive) augmente et est assurée par des trous. Les trous deviennent majoritaires. la figure ci-dessous explique clairement le phénomène.

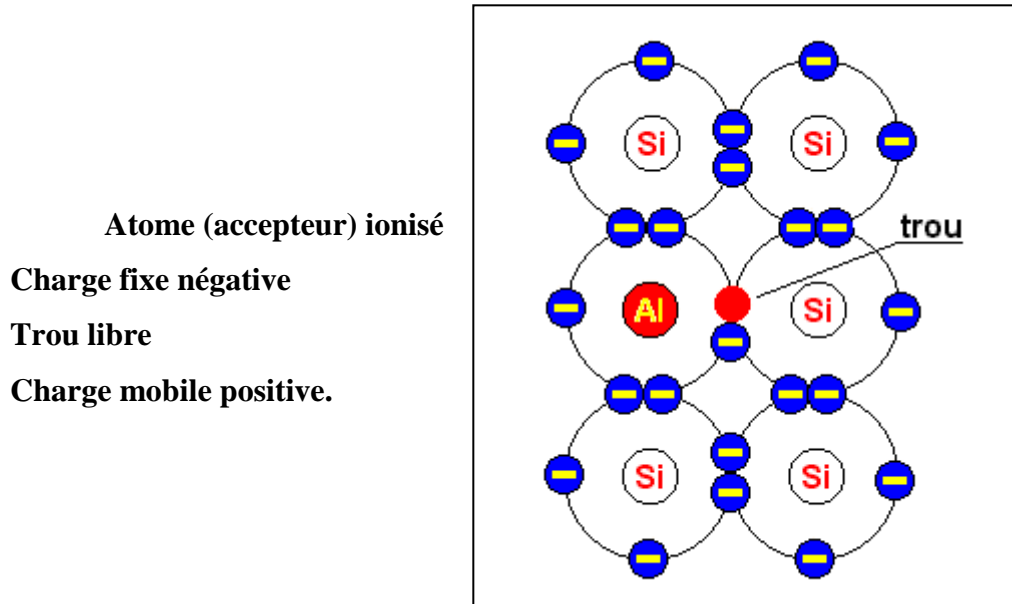
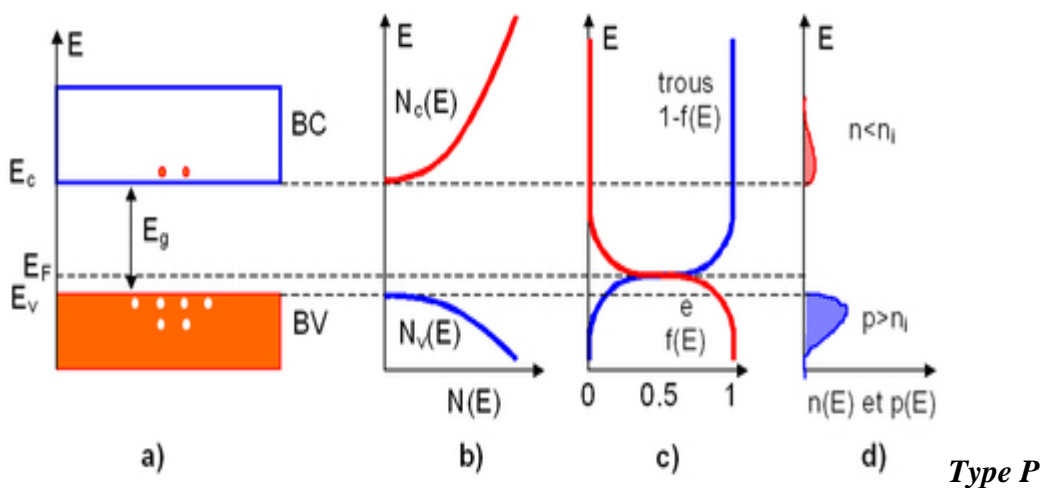


Figure I-5) Les semi-conducteurs extrinsèques type P [11].

Un bilan général du point de vue structure de bande, distribution de charge des deux types des semi-conducteurs illustré à titre indicatif et à titre comparatif.



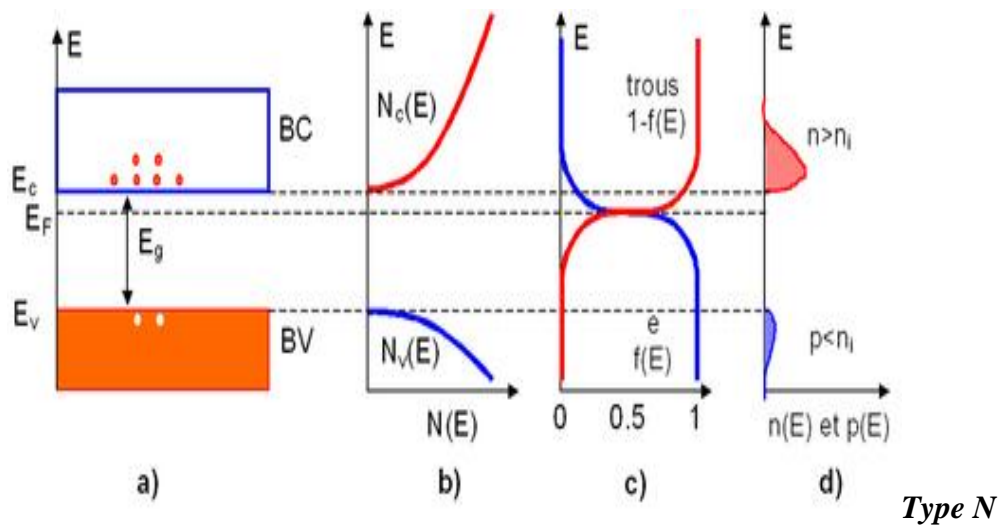


Figure I-6) Semi-conducteur.

Le bilan électronique pour un semi-conducteur extrinsèque [12]. a) Diagramme des bandes d'énergie b) Densités d'états énergétique. c) Distributions de Fermi-Dirac d) Densités énergétiques de porteurs (les densités de porteurs n et p).

Tous ces phénomènes de variation de conductivité trouvent leurs explications dans La théorie des bandes qu'on va expliciter ci-dessous.

1-4-5) La classification des Semi-conducteur

Le germanium et le silicium sont les Semi-conducteurs typiques et leur technologie était la plus ancienne et la plus maîtrisée, ils sont tétravalents appartenant à la colonne IVB du tableau périodique [13].

Les matériaux semi-conducteurs les plus communs sont des solides inorganiques cristallins tels que :

- **Semi-conducteurs élémentaires :**
 - Simples : In, Sb (colonne IV)
 - Complexes : Se (colonne VI)
- **Semi-conducteurs composés :**
 - Binaires : GaAs (meilleur émetteur de lumière que le Si), GaN, SiGe, InSb...
 - Alliages ternaires : $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_x$ (dispositifs optoélectroniques comme les diodes lasers, transistors particuliers).
 - Alliages quaternaires: GaInAsP (diodes lasers).

Plus récemment, certains solides organiques (notamment utilisés pour des écrans D'affichage souples).

On peut classer suivant les groupes des atomes qui les composent comme l'explique la figure ci-dessous. On trouve une très grande variété de matériaux semi-conducteurs, construits avec des liaisons covalentes (éléments du groupe IV), ou des liaisons qui deviennent de plus en plus ioniques quand on s'éloigne du groupe IV [14].

Tableau I-1) La liste de certains semi-conducteurs.

Colonne	semi-conducteurs
IV	Ge, Si
III-V binaire Ternaire Quaternaire	GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb $Al_xGa_{1-x}As$, $GaAs_yP_{1-y}$ $Al_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$
II-V binaire Ternaire	CdS, HgTe, CdTe, ZnSe, ZnS $Cd_xHg_{1-x}Te$
III-V/II-VI quasibinaire III-V/III-V	$(GaP)_{1-x}(ZnSe)_x$ $(GaAs)_{1-x}(InAs)_x$

I-5) Définition des semi-conducteurs binaires

Les semi-conducteurs binaires sont composés de deux atomes dont la somme des électrons de valence des deux atomes égale à huit.

Les semi-conducteurs de composés binaires sont constitués de deux éléments inorganiques distincts et représentent une famille de matériaux très étendue. Ils peuvent être constitués de deux éléments de la même colonne IV (SiC et SiGe), d'éléments des colonnes III et V, (notés composés III-V tels que (GaAs, GaN, GaP) ou d'éléments des colonnes II et VI (composés II-VI, tels que (CaS, CaSe et SrS) ou encore des composés de type IV-VI comme (PbS et PbSe) et I-VII comme (CuCl). La liste complète des semi-conducteurs II-VI et III-V et IV-IV peut être obtenue à partir de l'extrait du tableau de Mendeleïev suivant. [15].

Tableau I-2) Morceaux choisis du tableau périodique (en gras : éléments III, V, II et VI).

IA-B	IIA-B	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB
Li ³	Be⁴	B⁵	C⁶	N⁷	O⁸	F⁹
Na ¹¹	Mg¹²	Al¹³	Si¹⁴	P¹⁵	S¹⁶	Cl¹⁷
Cu ²⁹	Zn³⁰	Ga³¹	Ge³²	As³³	Se³⁴	Br³⁵
Ag ⁴⁷	Cd⁴⁸	In⁴⁹	Sn⁵⁰	Sb⁵¹	Te⁵²	I⁵³
Au ⁷⁹	Hg⁸⁰	Tl⁸¹	Pb⁸²	Bi⁸³	Po⁸⁴	At⁸⁵

Les atomes du groupe III-V ne possèdent que 3 électrons de valence sur leurs dernières orbitales s et p contre 5 sur les orbitales s et p . La liaison III-V résulte donc de l'hybridation sp^3 des orbitales atomiques (liaison covalente) avec, en plus, pour les atomes II-VI une partie ionique non négligeable qui provient de la différence de nature entre l'élément VI, très électronégatif (anion), et l'élément II (cation) [16]. La liaison II-VI est donc ion-covalente au contraire de la IV-IV (Si, Ge) qui, elle, est purement covalente.

I-6) Conclusion

Dans le premier chapitre nous avons donné des notions fondamentales des matériaux semi-conducteurs que nous allons étudier en insistant sur les semi-conducteurs des composés binaires.

La connaissance des propriétés physiques et du comportement de ces matériaux est évidemment essentielle pour l'évaluation de leur domaine d'application.

Propriété électroniques et optiques des semi-conducteurs: effet de la température

II-1) Introduction

Dans l'ensemble des matériaux, les semi-conducteurs constituent une classe bien définie, avec des propriétés physiques particulières qui sont sources d'intérêt au plan de la connaissance fondamentale et à celui des applications. Ces deux facteurs indissociables font l'importance de ces matériaux, malgré le nombre limité d'éléments et de composés semi-conducteur.

Dans ce chapitre nous allons donner quelques propriétés physiques de semi-conducteur binaire InSb en insistant spécialement les propriétés électroniques et les propriétés optiques.

II-2) Propriétés structurales

Les semi-conducteurs se présentent sous plusieurs compositions chimiques avec une grande variété de structures cristallines.

II-2-1) Structure Zinc Blende

La plupart des matériaux semi-conducteurs binaires III-V, et quelques matériaux II-VI ont une structure Zinc-Blende (ZB) figure (II.1). Cette structure, qui s'apparente à celle du diamant, est constituée de deux sous-réseaux cubiques à faces centrées.

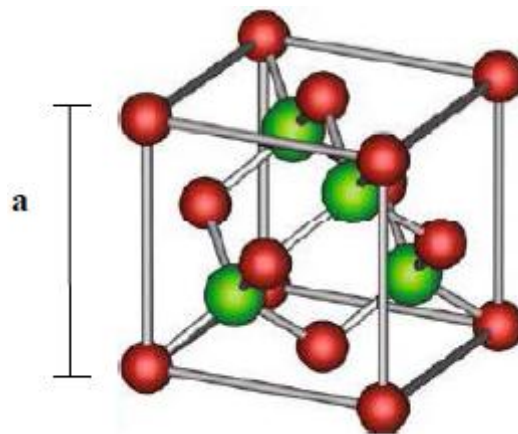


Figure II-1 structure zinc blende [17]

II-2-2) La constante de maille

La maille cristalline est définie par trois paramètres a , b , c et par trois angles qu'ils font entre eux comme c'est présenté sur figure (II-2) suivant les valeurs relatives de six grandeurs on définit les différentes structures cristallines.

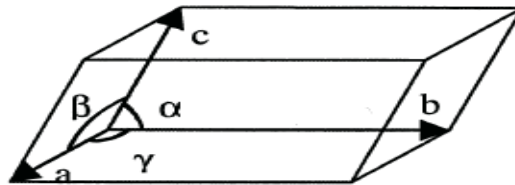


Figure II.2 La maille élémentaire [18]

Dans le cas de système cubique $a=b=c$ et $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

II-3) Les propriétés électroniques des semi-conducteurs III-V

L'allure générale des bandes d'énergie est la même pour tous les composés III-V, ils possèdent la plus part un gap direct (à part ex : GaP, AlAs, AlSb ou AlP, InSb...), c'est-à-dire que le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande conduction sont situés au centre de la zone de Brillouin, en ($K=0$). Le minimum central de la bande de conduction correspond des électrons de faible masse effective, donc très mobile. Il existe par ailleurs des minima secondaires en bordure de la zone de Brillouin qui sont beaucoup plus plats, les électrons ont une masse effective beaucoup plus grandes, et donc faible mobilité.

Les structures de bandes ont été obtenues par l'approche empirique de la méthode tight binding en utilisant la base sp^3s^* . Nous modélisons la structure de bande des semi-conducteurs binaires par les paramètres tight binding sp^3s^* de Vogl et al [19].

Les propriétés électroniques des semi-conducteurs peuvent être déduites à partir de leur structure de bandes dont la largeur du gap caractérise le niveau de conduction.

La caractérisation principale des semi-conducteurs est que leurs propriétés physiques dépendent de leur taille. Par exemple, la température de fusion est inversement proportionnelle au rayon est donc proportionnelle au rapport de surface/volume car le nombre de coordination est diminué à la surface, ce qui réduit l'énergie moyenne de liaison et par conséquent la température de fusion [13].

II-3-1) BANDES D'ENERGIE

Bien que les électrons d'un atome isolé aient des niveaux d'énergie permis bien définis, le comportement de ces électrons dans un réseau cristallin périodique est différent. Si la distance entre les atomes est suffisamment petite, comme dans le cas du réseau cristallin du silicium, la présence des atomes voisins génère une sorte d'interférence entre les niveaux permis de chaque atome. Cela entraîne une multitude quasi continue d'états autour de chaque niveau permis de l'atome individuel. Cet ensemble d'états, très proches entre eux, est plutôt considéré alors comme une bande d'énergie permise, avec une densité d'états associée.

Les niveaux d'énergie des électrons de valence et le niveau d'énergie d'ionisation génèrent ainsi deux bandes d'énergies permises particulièrement intéressantes, la bande de valence et la bande de conduction, séparées par une bande dépourvue de niveaux permis, nommée bande interdite (Figure II-3). La particularité de ces bandes permises tient au fait que les électrons peuvent circuler librement dans toute la maille cristalline et ainsi générer des courants de conduction électrique (s'agissant d'électrons partagés par les atomes du réseau cristallin).

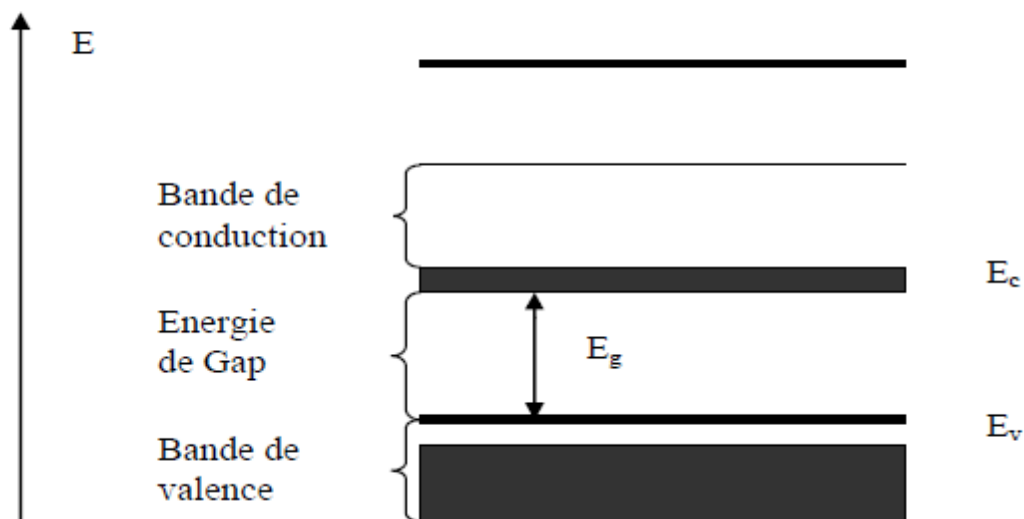


Figure II-3) Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs [21].

II-3-2) Gap direct – Gap indirect [22].

Considérons le gap des différents semi-conducteurs. Le gap est par définition la largeur de la bande interdite, c'est-à-dire la différence d'énergie entre le minimum absolu de la bande de conduction et le maximum absolu de la bande de valence. Les structures de bande

représentées dans la figure II-11 font apparaître deux cas fondamentaux de semi-conducteur. Les semi-conducteurs à gap indirect, dont lesquels le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont situés en des points différents de l'espace des k et les semi-conducteurs à gap direct pour lesquels ces extrema sont situés au même point de l'espace des k (au centre de la zone de Brillouin, en $k=0$).

Dans les semi-conducteurs à gap direct, le minimum central de la bande de conduction correspond à des électrons de faible masse effective, donc très mobiles. Par contre ceux qui ont un gap indirect, leur bande de conduction correspond à des électrons de grande masse effective, donc ayant une faible mobilité ci-dessous.

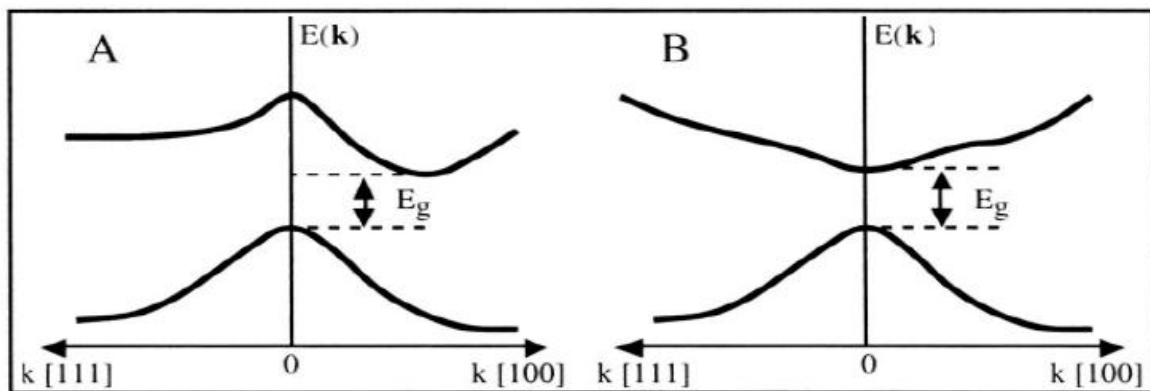


Figure II-4) Structure de bande d'énergie du : A-gap indirect et B-gap direct

II-4) Propriétés optiques

L'interaction d'un électron avec un photon se fait, comme toute interaction, avec conservation de l'énergie et du vecteur d'onde. Les transitions optiques directes entre les extrêmes des bandes de valence et de conduction apparaissent verticales radiatives dans le diagramme de bande des électrons. Dans le cas d'un semi-conducteur à bande interdite indirecte, les transitions optiques à travers le gap ne peuvent avoir lieu que grâce à une interaction supplémentaire : transitions obliques (non radiatives). Figure (II-3).

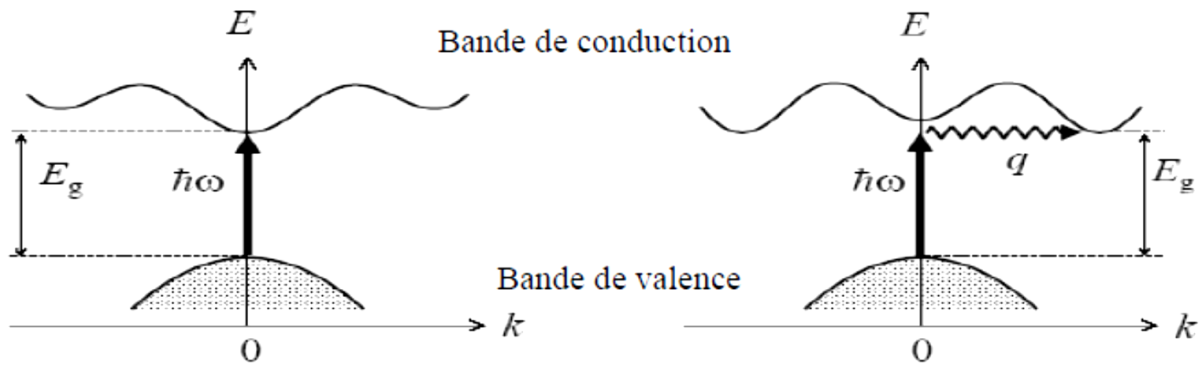


Figure II-5) les transitions optiques directes et indirectes [23]

II-4-1) L'interaction rayonnement-matière

Les effets d'un rayonnement sur un atome désignent l'ensemble des interactions rayonnement-matière. La figure ci-dessous montre les effets visuels de cette interaction. On utilise les rayonnements pour analyser les atomes de manière indirecte en observant la manière dont ils perturbent un rayonnement incident, permettant ainsi de caractériser la structure de la matière (cristal) par les méthodes de diffraction, ou bien caractériser les énergies de liaisons de la matière par les méthodes spectrométriques [24].

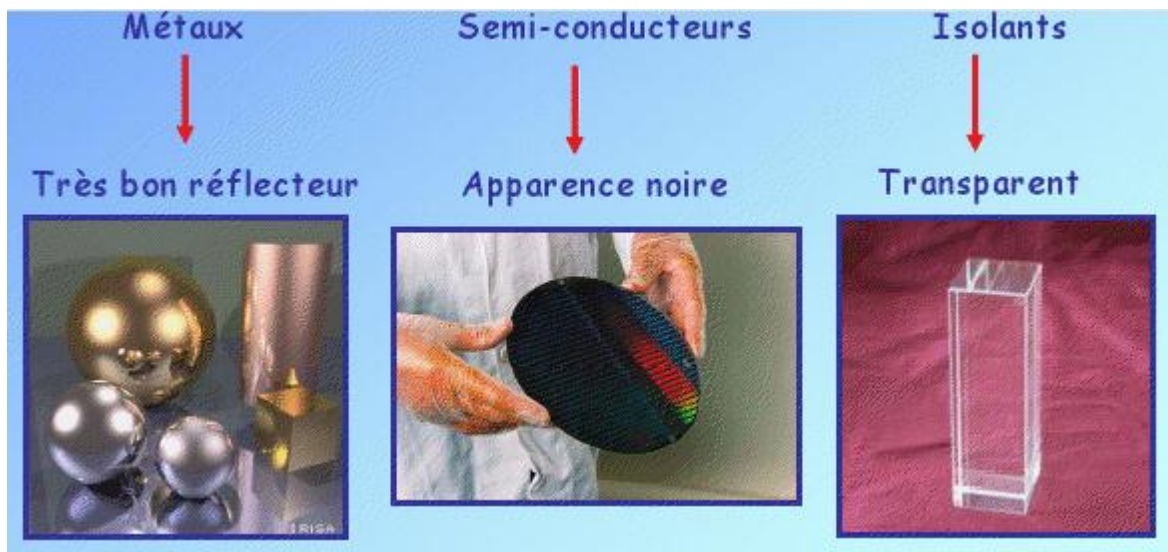


Figure II-6 Les effets du rayonnement sur les différents matériaux

Interaction rayonnement - semi-conducteur

Les semi-conducteurs sont caractérisés par leur bande interdite ou gap, des niveaux interdits pour les électrons séparant deux ensembles de niveaux permis par les électrons, la bande de conduction complètement vide à 0°K et la bande de valence pleine à. La nature du gap joue un rôle fondamental dans l'interaction du semi-conducteur avec un rayonnement électromagnétique et par suite dans le fonctionnement des

Composants optoélectroniques [25].

II-4-3) Les ondes électromagnétiques [10].

Un champ électromagnétique nous entoure en permanence, exactement comme l'air

qui nous entoure. Ce champ est créé par la présence des particules chargées, comme les électrons et les protons, le déplacement de ces particules donne un courant électrique qui va donner à son tour un champ magnétique, une simple perturbation de ce champ électromagnétique permet de créer la propagation d'une onde électromagnétique.

Toute onde est caractérisée par deux paramètres, sa fréquence et sa longueur d'onde.

La forme de cette onde est schématisée si dessous.

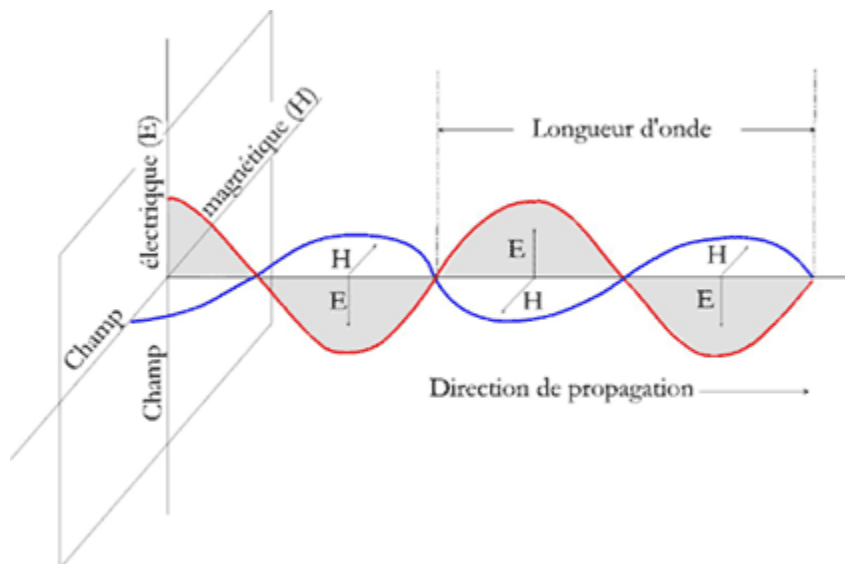


Figure II-7) L'onde électromagnétique.

II-4-4) Le spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques couvrent un grand nombre de phénomènes, elles sont extrêmement utiles dans notre vie de tous les jours. Il faut dire que ces rayonnements ont la même nature. D'ailleurs ils portent des noms différents, mais c'est aussi parce qu'ils se manipulent très différemment les uns des autres, ces ondes sont :

- Les ondes radio,
- Micro-ondes,
- infrarouges,
- Lumière visible,

- Ultraviolet,
- Rayon X,
- Rayons gammas.

Tous ces noms désignent en fait le même phénomène « onde électromagnétique ».

Chaque type de rayonnement est caractérisé par une gamme de fréquence, en partant de ceux qui ont les plus faibles fréquences, c'est ce qu'on appelle « spectre électromagnétique » présenté sur la figure (II-7).

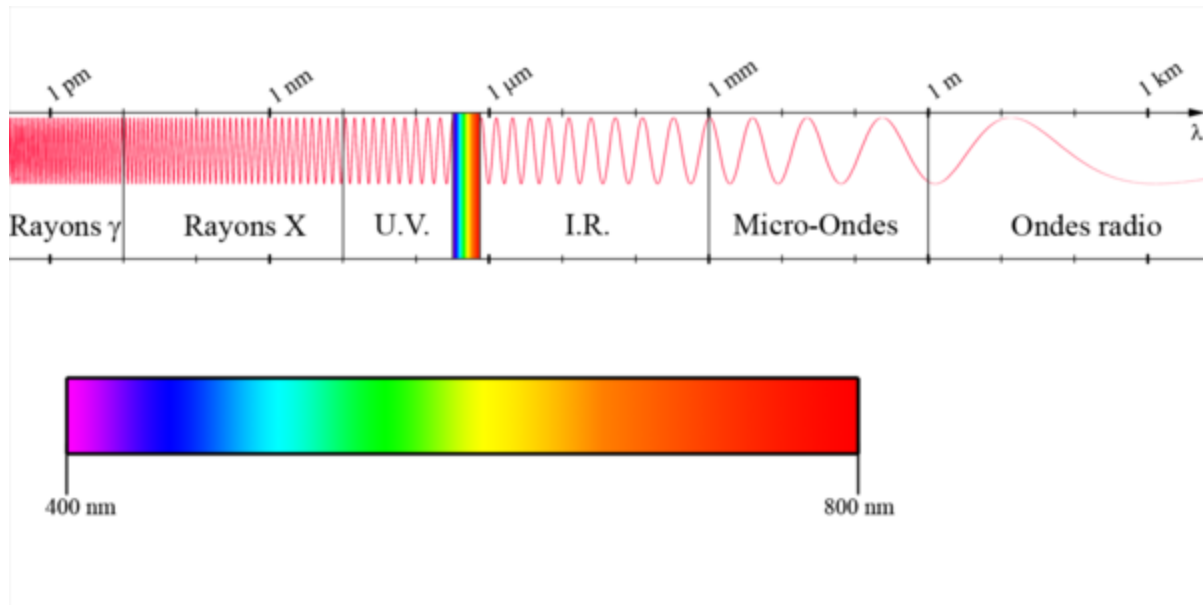


Figure II-8) Le spectre électromagnétique

II-4-5) L'absorption fondamentale de la lumière

Un photon d'énergie $h\nu$ peut induire le saut d'un électron d'un état occupé de la bande de valence d'énergie E_1 , vers un état libre de la bande de conduction d'énergie E_2 appelé aussi état excité ($h\nu = E_2 - E_1$), c'est l'absorption fondamentale elle est présentée sur la figure II -7 Ce processus sera mis à profit dans les capteurs de rayonnement [27].

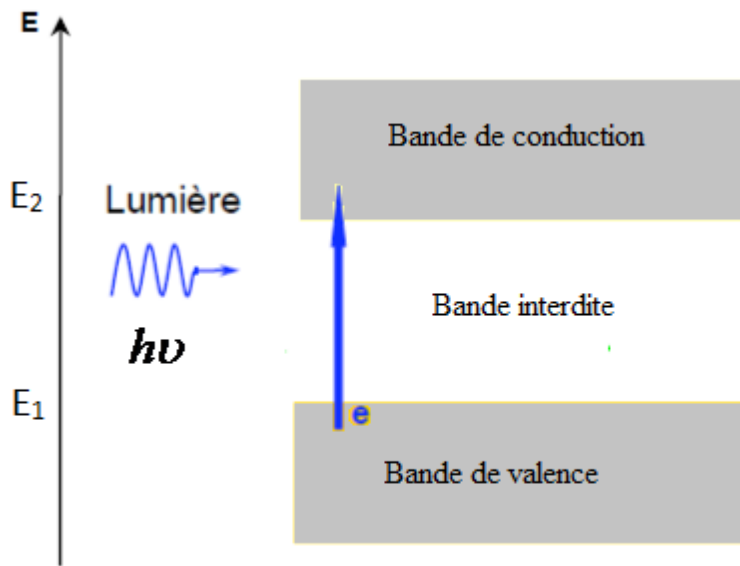
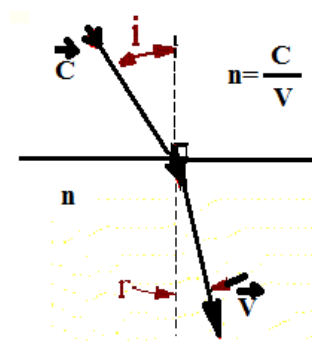


Figure II-9) L'absorption fondamentale de la lumière par les porteurs.

II-5) L'indice de réfraction [28].

L'indice de réfraction n d'une substance est une de ses constantes physiques susceptible de la caractériser au même titre que sa densité ou son point de fusion ou d'ébullition. C'est l'une des notions importantes de l'optique. Cette grandeur caractérise la modification de la propagation des ondes lumineuses par leur interaction avec le milieu matériel dans lequel elles se propagent. Le processus est représenté dans la figure ci-dessous.



FigureII-10) L'indice de réfraction d'un matériau

L'indice de réfraction dépend du type de matériau utilisé qu'il soit monocristallin, polycristallin ou amorphe et du taux d'impuretés dans le matériau. En général, il est lié au gap énergétique du matériau, plus le gap est grand, plus l'indice est petit.

En électromagnétisme, l'indice de réfraction se définit à partir de la constante diélectrique, substance isolante capable d'emmagasiner de l'énergie électrostatique caractérisée par sa permittivité ou constante diélectrique pouvant prendre des valeurs complexes dans des milieux absorbants.

Connaitre l'indice de réfraction d'un matériau est très important pour la réalisation des dispositifs électroniques tels que les guides d'ondes, les cellules solaires etc. Plusieurs approches ont touchées cet indice qui est lié au gap énergétique fondamental du matériau.

Donc pouvoir choisir un indice pour une application quelconque revient à ajuster ce gap c.à.d. affiner la structure du matériau pour qu'il puisse répondre aux exigences de l'application. [29]

II-5) Les caractéristiques optiques des matériaux sont :

- Le coefficient de réflexion R :

$$R = \frac{(n-1)^2 + \chi^2}{(n+1)^2 + \chi^2} \quad (\text{II-1})$$

Où χ est le coefficient d'extinction

- le coefficient de transmission T :

$$T = \frac{4n}{(n+1)^2 + \chi^2} \quad (\text{II} - 2)$$

Où n est : l'indice de réfraction En générale, l'indice de réfraction est lié à la constante diélectrique par la relation :

$$(n \approx \sqrt{\epsilon_r}) \quad (\text{II-3})$$

II-6) Les propriétés diélectriques des semi-conducteurs

Un matériau est dit diélectrique si ses électrons ne peuvent pas, par définition, se déplacer sur des grandes distances (de façon macroscopique). Autrement dit, c'est un milieu ne pouvant pas conduire le courant électrique.

II-6-1) Le constant diélectrique statique $\epsilon(0)$ et de hautes fréquences $\epsilon(\infty)$

La constante diélectrique appelée aussi permittivité électrique, décrit la réponse d'un milieu donné à un champ électrique. Elle a des conséquences importantes sur les propriétés physiques du solide. Elle intervient dans de nombreux domaines, notamment, dans l'étude de la propagation des ondes électromagnétique, en particulier en optique, dans la détermination de l'indice de réfraction, la réflexion et l'absorption de la lumière.

Autrement dit, les excitations propres d'un matériau sont décrites par la fonction

Diélectrique $\varepsilon(\omega, \vec{k})$, cette fonction dépend essentiellement de la fréquence et du vecteur d'onde \vec{k} [30].

Pour les petites valeurs de \vec{k} , cette fonction sera seulement fonction de la fréquence, On parlera ainsi de la constante diélectrique statique qui correspond à l'équilibre thermodynamique et la constante diélectrique $\varepsilon(\infty)$ correspondant à sa limite pour les hautes fréquences ; appelée aussi constante diélectrique optique.

Elle a été définie pour tenir compte de la contribution du cortège électronique des ions. Le tableau II.1, présente des valeurs expérimentales $\varepsilon(0)$ de et $\varepsilon(\infty)$ pour quelques matériaux semi-conducteurs.

Tableau II-1 Constantes diélectriques statique et optique de quelques matériaux Semi-conducteurs à 300 K.

Matériau	Constante diélectrique statique $\varepsilon(0)$	Constante diélectrique optique $\varepsilon(\infty)$
Si	11.7	11.7
Ge	15.8	15.8
InSb	17.7	15.6
InAs	14.9	12.3
InP	12.4	9.6
GaAs	12.9	10.9
GaSb	16.1	14.4
GaP	10.7	8.5

II-6-2) La relation entre un diélectrique et l'indice de réfraction [31].

En frappant un matériau diélectrique avec un rayon avec un certain angle, plusieurs phénomènes se produisent en se basant sur les principes de l'optique, et la réaction du matériau dépendra énormément de sa nature comme le montre la figure ci-dessous.

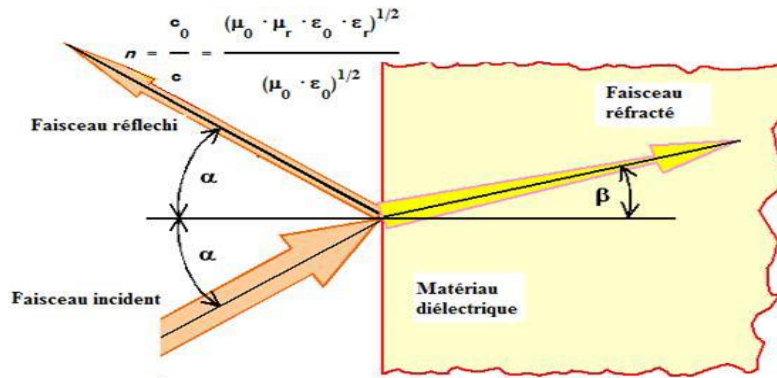


Figure II-11) La relation entre l'optique et le diélectrique.

Sachant que l'indice de réfraction n est proportionnel à la racine carrée de la Constante diélectrique ϵ comme suit :

$$n = \epsilon^{\frac{1}{2}} \quad (\text{II-4})$$

Et sachant aussi que cette fonction diélectrique est complexe, l'indice s'écrit alors comme suit:

$$n^* = n + jk \quad (\text{II-5})$$

II-6-3) La réflexion optique

Les mesures optiques qui fournissent l'information la plus complète sur les systèmes électroniques, sont les mesures de réflexion de la lumière sous incidence normale.

Le coefficient de réflexion $R(\omega)$ à la surface du cristal, est une fonction complexe défini comme étant le rapport du champ électrique réfléchi au champ électrique incident, il est exprimé comme suit :

$$R(\omega) = E(\text{ref})/E(\text{inc}) = \rho(\omega)e^{i\theta(\omega)} \quad (\text{II-6})$$

$\theta(\omega), \rho(\omega)$, sont respectivement la phase et l'amplitude du coefficient de réflexion [32].

II-7) l'effet de la température

La structure de bande est la relation entre l'énergie de la particule et son vecteur d'onde k dans les directions de plus hautes symétries de la première zone de Brillouin. Elles se décomposent en bandes de valence et bande de conduction. La bande de valence est la plus basse, la bande de conduction est la plus haute et la bande interdite ou le gap [14]. Ce gap correspond à l'énergie nécessaire au système pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction. Le gap est par définition la largeur de la bande interdite,

c'est-à-dire la différence d'énergie entre le minimum absolu de la bande de conduction et le maximum absolu de la bande de valence. Dans les semi-conducteurs à gap direct, le minimum central de la bande de conduction correspond à des électrons de faible masse effective, donc très mobiles. Les semi-conducteurs à gap indirect, leur bande de conduction correspond à de grande masse électrons effective, donc ayant une faible mobilité [26].

La plupart des matériaux binaires possèdent un gap direct. Dans ce cas le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont pour un même point k de la Zone de Brillouin. La largeur du gap varie en fonction de la température, généralement, cette variation est donnée par l'équation de Varshni [33].

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{(T+\beta)} \quad (\text{II.7})$$

Où $E_g(0)$ est l'énergie de bande interdite pour $T=0$ K, α et β sont des paramètres servant à décrire la variation de la bande interdite en fonction de la température.

En générale, les semi-conducteurs ont une bande énergétique entre zéro et 4 eV. Lautenschlager et al [34], ont récemment proposé une dépendance de la température avec Le diamant, par exemple, possède un gap de 5.5 eV, mais encore considéré comme un semi-conducteur. Les matériaux qui ont $E_g = 0$ s'appellent les semi métal comme HgS, HgTe. Les Semi-conducteurs qui ont $0 < E_g \leq 0.5$ eV s'appellent les semi-conducteurs étroits d'espace Comme PbS, PbSe. Dans la gamme $0,5 \text{ eV} < E_g \leq 2 \text{ eV}$, on trouve les semi-conducteurs les Plus importants pour le domaine optoélectronique comme GaAs, GeS, InSb.

Une équation contenant le facteur d'occupation des phonons de Bose-Einstein [34].

$$E_g(T) = E_B - a_B \left(1 + \frac{2}{\exp\left(\frac{\theta}{T}\right) - 1} \right) \quad (\text{II-8})$$

Où E_B est le paramètre qui décrit la fréquence moyenne des phonons impliqués et a_B la force d'interaction.

II-8) Conclusion

Dans la deuxième chapitre, nous avons regroupé quelques propriétés générales de semi-conducteur binaire que nous allons étudier et les caractéristiques de élément InSb en insistant spécialement les propriétés électroniques et propriétés optiques.

Dans cette contribution ,nous avons étudié l'effet de la température sur les propriétés électroniques et optiques du semi-conducteur InSb qui appartient au groupe III-V dans le tableau périodique des éléments. Dans ce chapitre nous allons exposer les principaux résultats obtenus dans ces parties .

III-1) L'effet de la température sur les propriétés électroniques

Nous avons étudié l'effet de la température sur l'énergie de la bande interdite du composé binaire InSb en utilisant deux modèles à savoir le modèle de Varshni et le modèle Bose-Einstein ,ces deux modèles présentent une crédibilité très importante dans le cas du semi-conducteur.

III-1-1) la bande interdite énergétique E_g

La bande interdite énergétique E_g appelée aussi gap par définition est la largeur de la bande interdite, c'est-à-dire la différence d'énergie entre le minimum absolu de la bande de conduction et le maximum absolu de la bande de valence. On distingue deux cas fondamentaux de semi-conducteur. Les semi-conducteurs à gap indirect, dont lesquels le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont situés en des points différents de l'espace des k [35] et les semi-conducteurs à gap direct dans le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence sont situés dans les mêmes points de l'espace des K dans la zone Brillouin .

Dans ce présent travail , le semi-conducteur InSb est un à gap direct dans les conditions normales de la pression et la température ,Nous avons étudié l'effet de la température sur la bande interdite du semi-conducteur d'intérêt.

A cet effet nous avons utilisé:

III-1-2) L'équation de Varshni

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (\text{III.1})$$

Les paramètres α et β utilisés dans le calcul sont d'intérêt de [36] (III-1). et présentés dans le tableau

Tableau III.1 Les paramtres α , β , E_B , a_B et θ utilisés dans les modèles de Varshni et Bose-Einstein [37].

	$\alpha \cdot 10^{-4}$ (eV/K)	β (K)	E_B (eV)	a_B (10^{-3})	θ (K)
E_{Γ}^{Γ}	3.39	176.47	0.26	23.96	170.01
E_{Γ}^X	1.61	138.46	1.67	7.85	120.05
E_{Γ}^L	2.07	132.07	0.99	9.97	116.9
E_X^X	1.35	184.62	3.36	6.08	121.58
E_L^L	2.13	168.97	1.68	10.27	127.05

Où $E_g(0)$ est le gap de la bande d'énergie à 0 K, α est une constante exprimée en électron Volts par degré Kelvin, et β est une constante qui est proportionnel à la température de Debye (en Kelvins). Sans compter que les changements de la structure de bande induits par la dilatation thermique du réseau, la dépendance de la température de E_g est principalement due aux interactions de phonon-électron [terme de Debye-Waller (processus de deux-phonon) et terme de ventilateur (processus d'un phonon)] [38].

III-1-3) Modèle de Bose-Einstein

Lautenschlager et al [39]. Ont récemment proposé une dépendance de la température avec une équation contenant le facteur d'occupation des phonons de Bose-Einstein.

$$E_g(T) = E_B - a_B \left(1 + \frac{2}{\exp\left(\frac{\theta}{T}\right) - 1} \right) \quad (\text{III-2})$$

Où E_B est le paramètre qui décrit la fréquence moyenne des phonons impliqués et a_B et la force d'interaction.

Pour le composé binaire InSb, les données théoriques des gaps énergétiques aux points de haute symétrie Γ , X et L de la zone de Brillouin, utilisées dans la procédure d'ajustement sont présentées dans le tableau (III-2) pour le modèle (a) de Varshni et le modèle (b) Bose-Einstein.

Tableau III-2) Valeurs des gaps d'énergies de semi-conducteur InSb utilisées pour le modèle de Varshni et Bose-Einstein.

T(K)	E_{Γ}^{Γ} (eV)		E_{Γ}^X (eV)		E_{Γ}^L (eV)		E_X^X (eV)		E_L^L (eV)	
	Modèle (a)	Modèle (b)	Modèle (a)	Modèle (b)	Modèle (a)	Modèle (b)	Modèle (a)	Modèle (b)	Modèle (a)	Modèle (b)
T=0	0.235	0.260	1.661	1.670	0.974	0.990	3.351	3.360	1.671	1.680
T=100	0.222	0.256	1.655	1.668	0.965	0.988	3.347	3.358	1.663	1.676
T=200	0.199	0.200	1.642	1.643	0.949	0.954	3.337	3.339	1.648	1.646
T=300	0.171	0.173	1.628	1.630	0.938	0.983	3.326	3.329	1.630	1.630
T=400	0.141	0.145	1.613	1.617	0.912	0.921	3.314	3.319	1.611	1.614
T=500	0.109	0.117	1.598	1.604	0.892	0.904	3.302	3.309	1.592	1.598
T=600	0.077	0.089	1.583	1.531	0.870	0.988	3.289	3.299	1.572	1.582

La variation de la bande Interdite directe ($\Gamma - \Gamma$) en fonction de la température est montrée dans la figure (III.1).

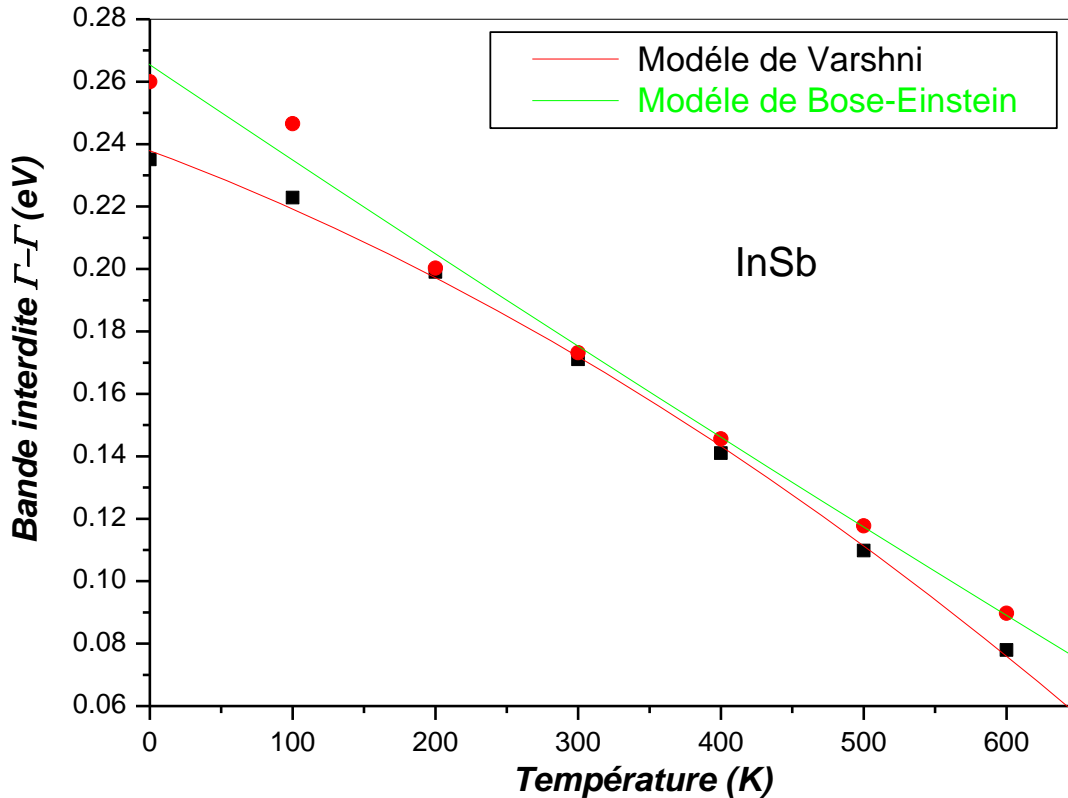


Figure III.1) Variation du gap direct ($\Gamma - \Gamma$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.

On remarque que la bande interdite ($\Gamma - \Gamma$) diminue lorsque la température augmente, cela est due au fait que lorsque la température augmente, les électrons de valence gagnent une énergie supplémentaire qui leur facilite la transition vers le bande de conduction, les sont interpolées quadratiquement par les équations suivantes :

$$E_{\Gamma}^{\Gamma} = 0.23 - 1.70 T - 1.65 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-3})$$

$$E_{\Gamma}^{\Gamma} = 0.26 - 3.14 T + 2.29 T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-4})$$

A partir des équations (III-3) et (III-4) on note que le paramètre de courbure est important. Cela indique que la variation de la bande interdite ($\Gamma - \Gamma$) en fonction de la température est non-linéaire.

Nous avons aussi étudié la variation de la bande interdite $\Gamma - X$ et $\Gamma - L$ en fonction de la température .

nous résultat sont présentés Dans les figure (III-2) et (III-3) suivants :

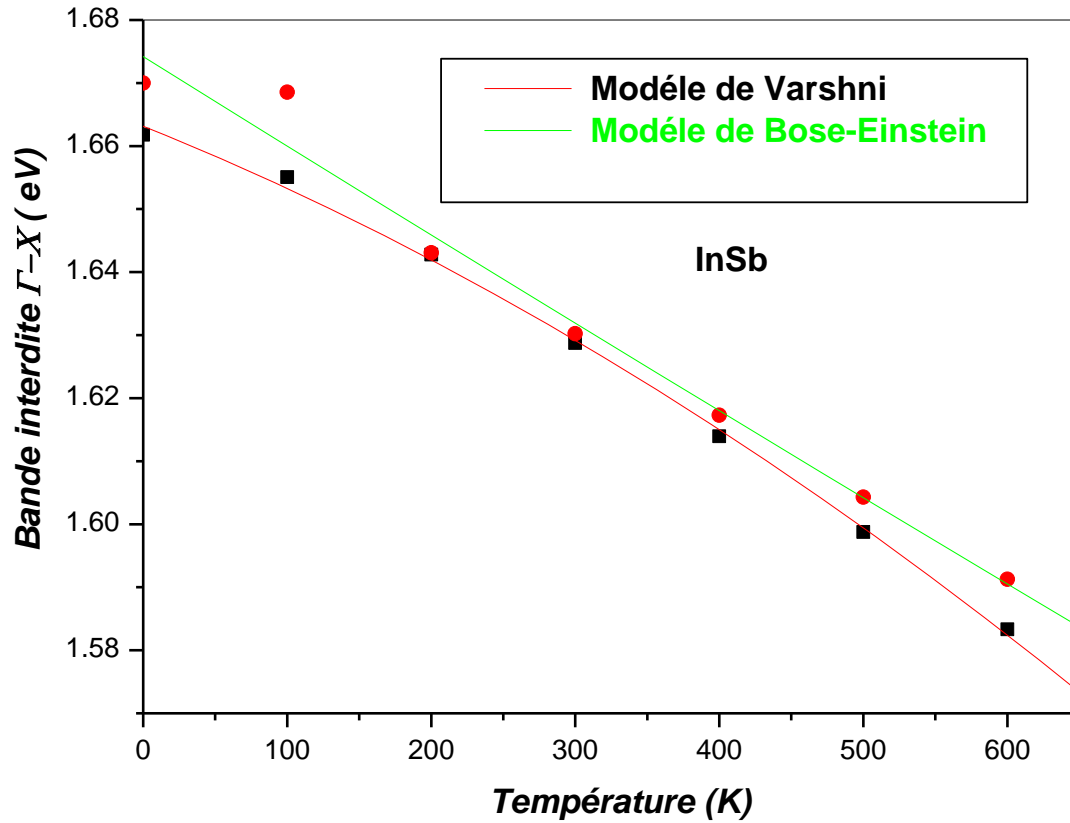


Figure III-2) Variation du gap direct ($\Gamma-X$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.

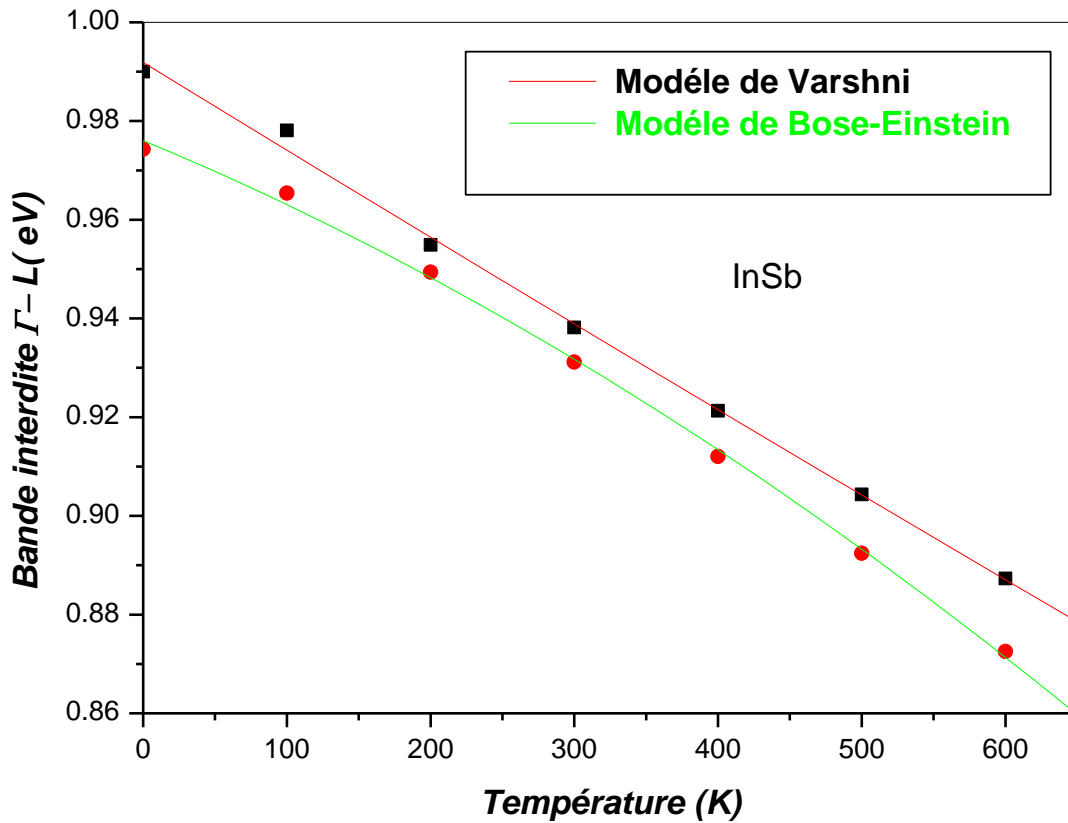


Figure III-3) Variation du gap direct ($\Gamma-L$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.

on remarque les bandes interdites $\Gamma-X$ et $\Gamma-L$ varient d'une manière qualitativement similaire à celle de la bande interdite ($\Gamma-\Gamma$) en fonction de la température. Les courbes des les figure (III-2) et (III-3) sont interpolées quadratiquement par les équations suivantes:

$$E_{\Gamma}^X = 1.66 - 9.19 T - 7.10 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-5})$$

$$E_{\Gamma}^X = 1.67 - 1.42 T + 5.13 T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-6})$$

$$E_{\Gamma}^L = 0.97 - 1.20 T - 8.92 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-7})$$

$$E_{\Gamma}^L = 0.99 - 1.85 T + 6.30 T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-8})$$

La variation de la bande interdite directe $X-X$ et $L-L$ en fonction de la température a été aussi calculée et examinée.

Nous résultat sont montrés sur les Figures (III-4) et (III-5) suivantes :

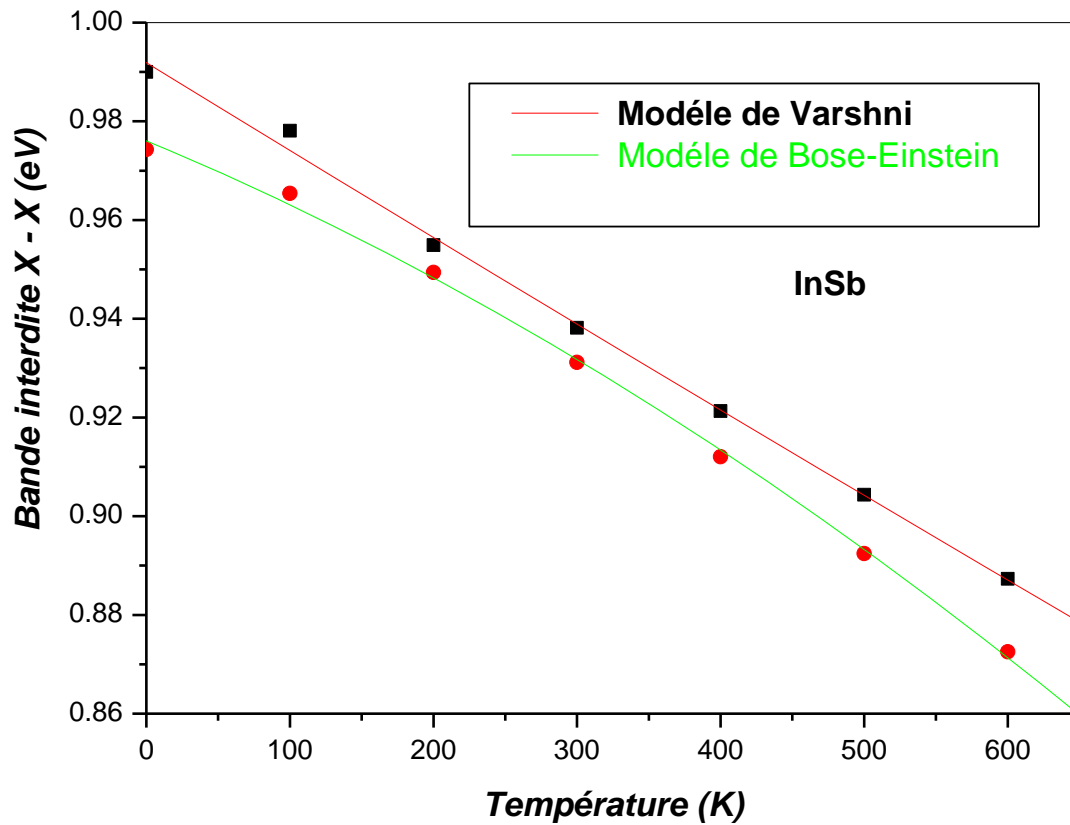


Figure III-4) Variation du gap direct ($X-X$) en fonction de la température en utilisant utilisées le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.

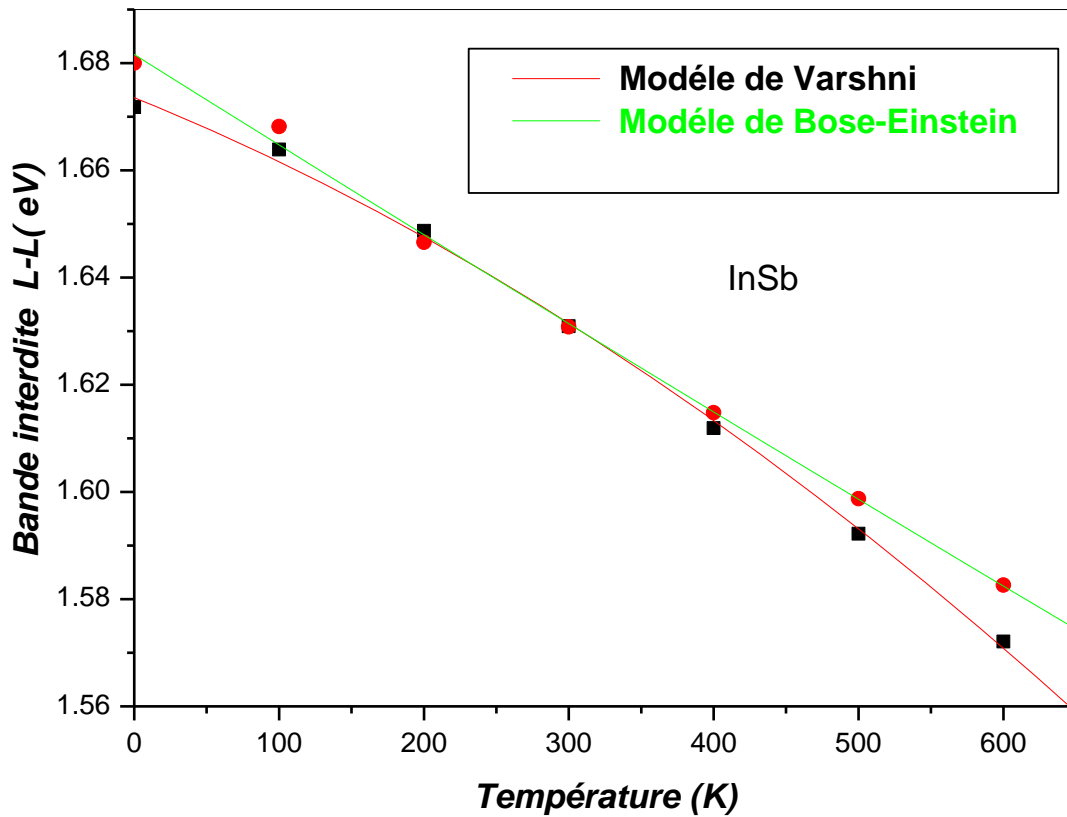


Figure III-5) Variation du gap direct ($L-L$) en fonction de la température en utilisant le modèle de Varshni et Bose-Einstein pour InSb.

on note que les deux bandes interdites directes $X-X$ et $L-L$ diminuent lorsque l'on augmente la température.

L'interpolation quadratique des données concernant les bandes interdites $X-X$ et $L-L$ donne les équations suivantes:

$$E_X^X = 1.67 - 1.09T - 1.65T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-9})$$

$$E_X^X = 3.36 - 1.64T + 5.21T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-10})$$

$$E_L^L = 3.35 - 6.60T - 6.72T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-11})$$

11)

$$E_L^L = 1.68 - 1.76T + 7.07T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-12})$$

Cette tendance est similaire aux celles des bandes interdites $\Gamma-\Gamma$, $\Gamma-X$ et $\Gamma-L$, on peut conclure donc que toutes les bandes interdites directes et indirectes ont le même comportement qualitativement en fonction de la température. Le premier est dû à Généralement, on croit qu'il y a deux mécanismes qui sont responsables du changement de la valeur de la bande interdite avec la température. Le premier est dû à la dilatation thermique qui provient de la dépendance de l'énergie de la bande interdite du constant du réseau le deuxième mécanisme, qui présente une contribution majeure, et qui est dû aux interactions électron-phonon.

Afin de voir s'il y a une transition de la bande interdite directe et indirecte sur l'effet de la température, nous avons tracé les courbes $L-L$, $\Gamma-X$, $\Gamma-L$, $X-X$ et $L-L$ dans les mêmes figures, (III-6) et (III-7) en utilisant le modèle Varshni et Bose-Einstein, respectivement.

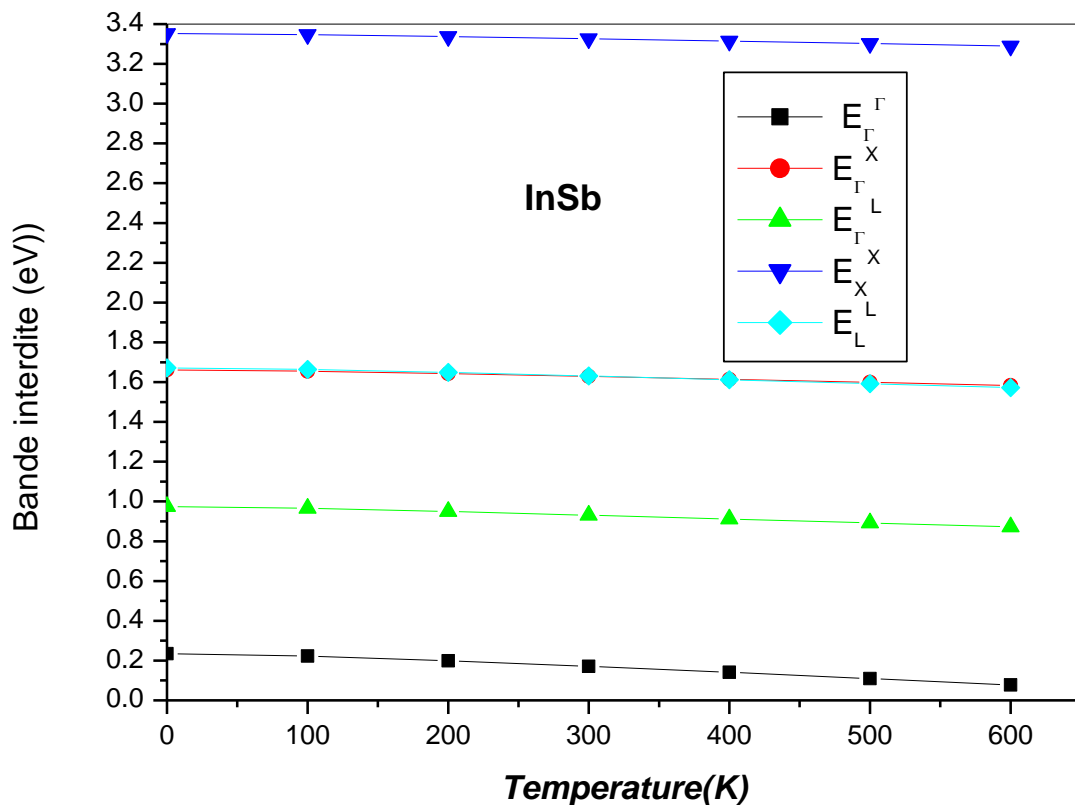


Figure III-6) Variation du gap direct ($\Gamma-\Gamma$) ($X-X$) et ($L-L$), et des gaps indirects ($\Gamma-X$), ($\Gamma-L$) en fonction de la température en utilisant le modèle de Varshni pour InSb.

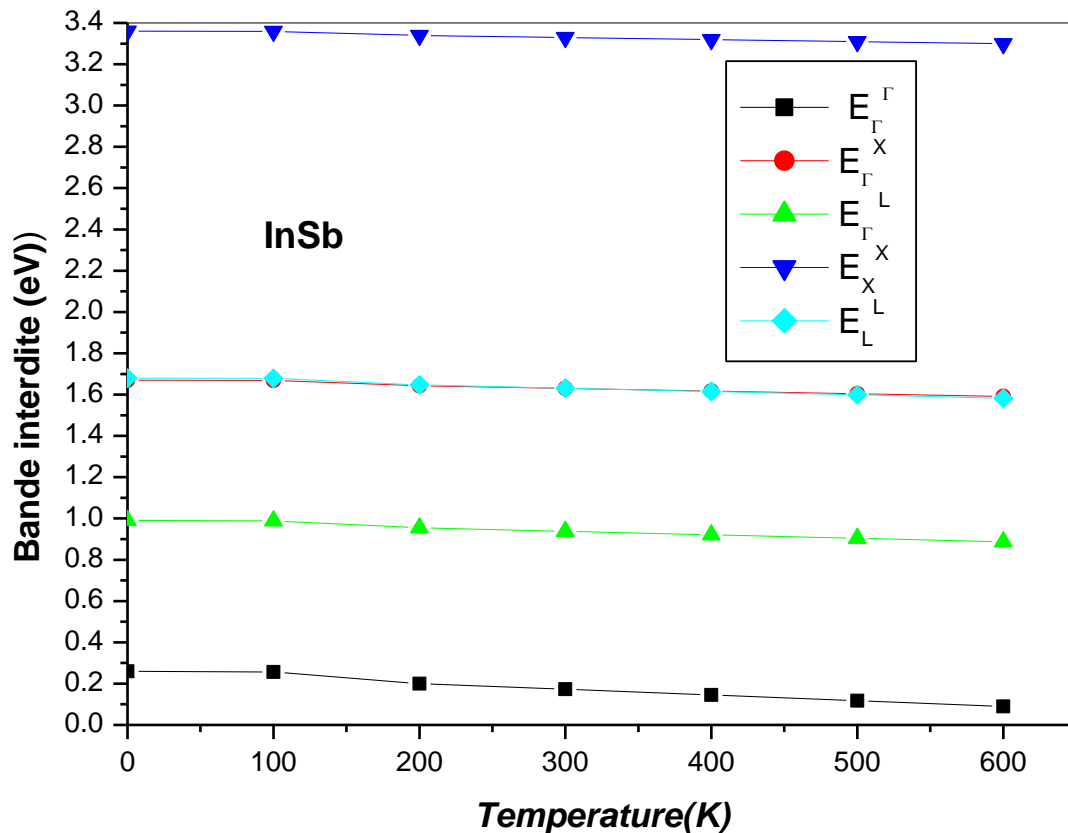


Figure III-7) Variation du gap direct ($\Gamma-\Gamma$), ($X-X$) et ($L-L$) et des gaps indirects ($\Gamma-X$) et ($\Gamma-L$), en fonction de la température en utilisant le modèle de Bose-Einstein pour InSb.

les deux figures montrent qu'il n'y a pas de transition de bande interdite, et que le semi-conducteur InSb reste toujours à bande interdite directe ($\Gamma-\Gamma$) sur l'effet de la température dans l'intervalle 0-600 K.

III-2) Effet de la température sur Les propriétés optiques

Après avoir étudié l'effet de la température sur les propriétés électroniques, nous allons maintenant étudier l'effet de la température sur les propriétés optiques. A cet effet, nous avons étudié l'indice de réfraction et la constante diélectrique à haute fréquence (ϵ_{∞}).

III-2-1) Indice de réfraction

L'indice de réfraction (n) des semi-conducteurs est d'un intérêt important pour des considérations à la fois fondamentales et appliquées. En outre, les dispositifs tels que les

Cristaux photoniques, les guides d'ondes, les cellules solaires et les détecteurs, nécessitent une connaissance préalable de l'indice de réfraction.

Une corrélation entre n et E_g a des répercussions importantes sur la structure de bande des semi-conducteurs, il serait utile de trouver une valeur acceptable de n d'un matériau quelconque à partir de cette relation. Dans le présent travail, l'indice n a été calculé en utilisant quatre modèles différents, qui sont tous directement liés à E_g .

D'autre part, l'indice de réfraction n sera relié à l'énergie du gap E_g de la structure de bande du matériau par la constante diélectrique. Plusieurs modèle empirique reliant n à l'énergie du gap E_g . Cependant, dans ces relations l'indice de réfraction est indépendant de la température et de l'énergie du photon incident.

Nous allons voir brièvement les variantes relations entre l'indice de réfraction et l'énergie de gap direct E_0 (nous pouvons les appliqués pour les composés à gap indirect vue qu'il n'y a pas une étude qui montre scientifiquement une interdiction).

1. La relation Moss basée sur le modèle atomique [39].

$$n^4 E_g = k \quad (\text{III-13})$$

Où

E_g est le gap d'énergie et k une constante trouvée égale à 108eV.

2. Ravindra et autres proposent une relation linéaire entre n et E_g donnée par [40] :

$$n = \alpha + \beta E_g \quad (\text{III-14})$$

Où

$$\alpha = 4.084 \text{ et } \beta = -0.62 \text{ eV}^{-1}$$

3. L'expression empirique de Hervé et Vandamme [41] donnée par :

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{13,6}{E_g + 3,4}\right)^2} \quad (\text{III-15})$$

Avec A et B sont des constantes numériques de valeurs 13.6 eV et 3.4 eV respectivement.

4. La relation de Reddy et Anjaneyulu [42] :

$$E_g e^n = 36,3 \quad (\text{III-16})$$

6-la relation empirique de Reddy Ahmmed (44):

$$n^4(E_g - 0.365) = 154 \quad (\text{III-17})$$

Remarque :

Il est à noter qu'il y'a d'autre modèle optiques tel que ce lui de Reddy Ahmmed , mais ce modèle n'est valable que pour les semiconducteurs à bande interdite supérieur à 0.365 eV

Tableau III-3) Calcul d' indice des réfraction de semi-conducteur InSb pour en utilisent Les modèles de Varshn et Bose-Einsteini en fonction de la température .

T(K)	n calculé à partir différents models							
	Model(1)		Model(2)		Model(3)		Model(4)	
	Eqaution (a)	Eqaution (b)	Eqaution (a)	Eqaution (b)	éqautio n(a)	éqautio n(b)	Eqaution (a)	Eqaution (b)
T=0(K)	4.62	4.51	3.93	3.92	3.84	3.87	5.03	4.93
T=100(K)	4.69	4.52	3.94	3.93	3.85	3.88	5.09	4.95
T=200(K)	4.82	4.81	3.96	3.96	3.90	3.90	5.20	5.08
T=300(K)	5.01 3.95 ^a	4.99 3.95 ^a	3.97 3.95 ^a	3.97 3.95 ^a	3.93 3.95 ^a	3.93 3.95 ^a	5.35 3.95 ^a	5.34 3.95 ^a
T=400(K)	5.26	5.21	3.99	3.99	3.96	3.96	5.50	5.51
T=500(K)	5.60	5.50	4.01	4.01	3.99	4.00	5.80	5.73
T=600(K)	6.10	5.88	4.03	4.02	4.02	4.03	6.14	6.00

^a Valeur expérimentale indiquée dans Ref [45]

L' indice de réfraction à différente température a été calculé en utilisant les différents modèles optiques les deux modèles de Varshi et Bose-Einsteini .

Nous résultat sont exposés dans le tableau (III-3) qui contient aussi la valeur optique représentée par Hervé et Vandamme . On remarque que nous résultat sont en boone accord avec celle représentée par P.Hervé et al.

Il est 3.93de nombre que le modèle qui donne l'indice de réfraction le plus prouche de 3.95 est celui de Hervé et Vandamme en etilisent le modèle de a et b.

La figure(III-8) donne la variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur.

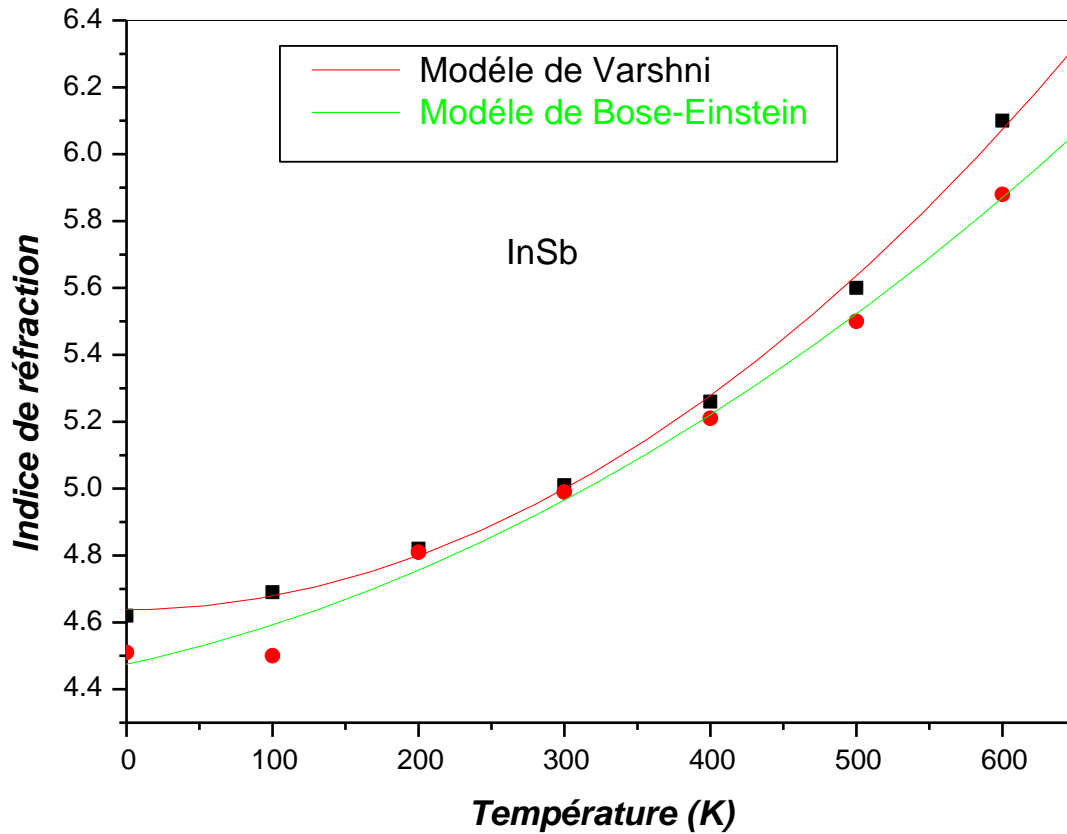


Figure III-8) Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.

On observe que l'indice de réfraction augmente lorsque la température augmente. Cette tendance est opposée à celle de la bande interdite. Les données de l'indice de réfraction calculées par le modèle de Moss sont interpolées quadratiquement par les équations suivantes :

$$n = 4.637 + 2.142T + 3.952 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-19})$$

$$n = 4.474 + 9.464T + 2.297 T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-20})$$

on peut noter que l'indice de réfraction suit le même comportement que celui calculée par le modèle de Moss . Néanmoins interpolation quadratique des données de ce modèle donnent les équation suivantes :

- Pour Ravindra et al.

$$n = 3.930 + 1.178T + 8.333 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-21})$$

$$n = 3.917 + 1.535T + 5.952 T^2 \quad \text{modèle Bose-Einstein.} \quad (\text{III-22})$$

- Pour Hervé et al.

$$n = 3.825 + 3.607T - 5.952 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-23})$$

$$n = 3.866 + 1.357T + 2.380 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad (\text{III-24})$$

A partir de la présentation de courbe de ces équation , on peut conclure que la variation de l'indice de réfraction en fonction de la température est non-linéaire . cela est valable aussi pour les autres modèles à savoir celui de la Ravindra et al, Hervé et al.

Comme montre les figures (III-9) et (III-10).

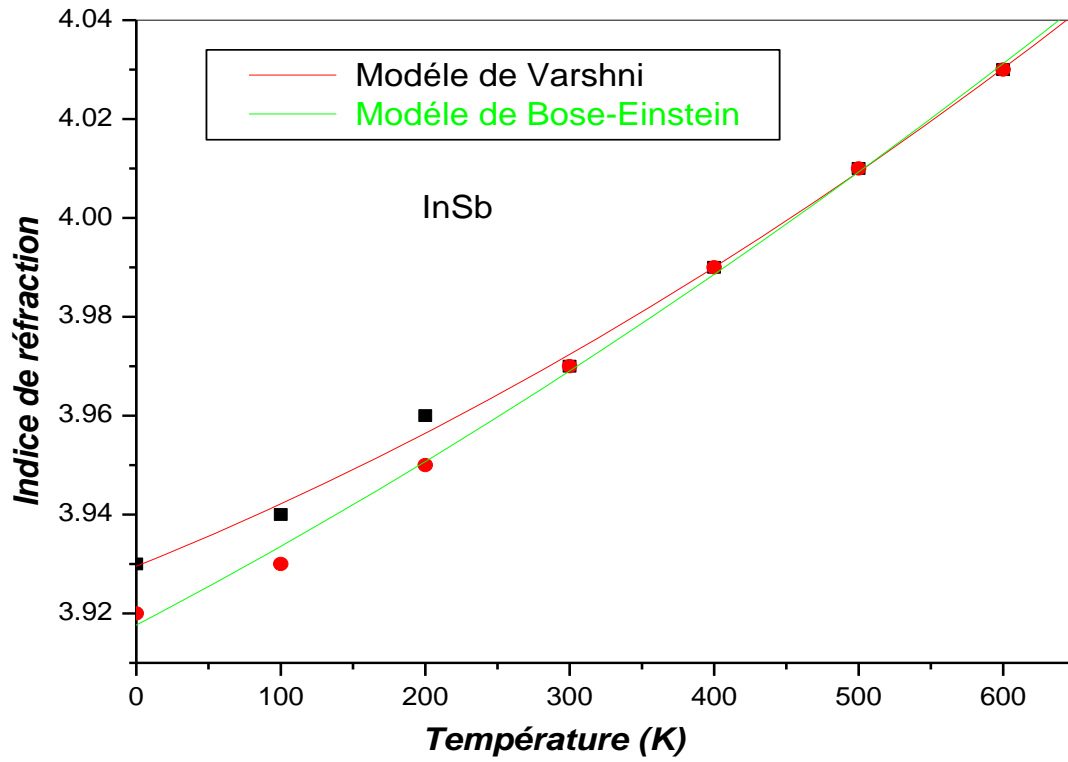


Figure III-9) Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.

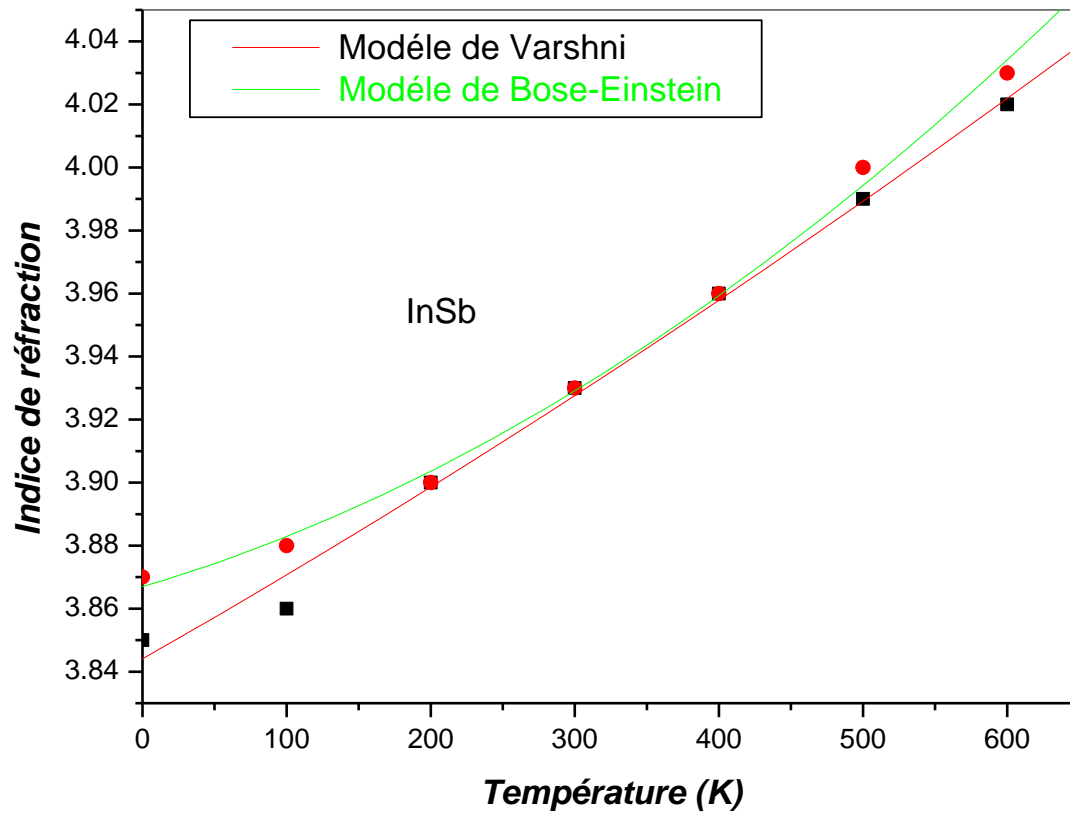


Figure III-10) Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.

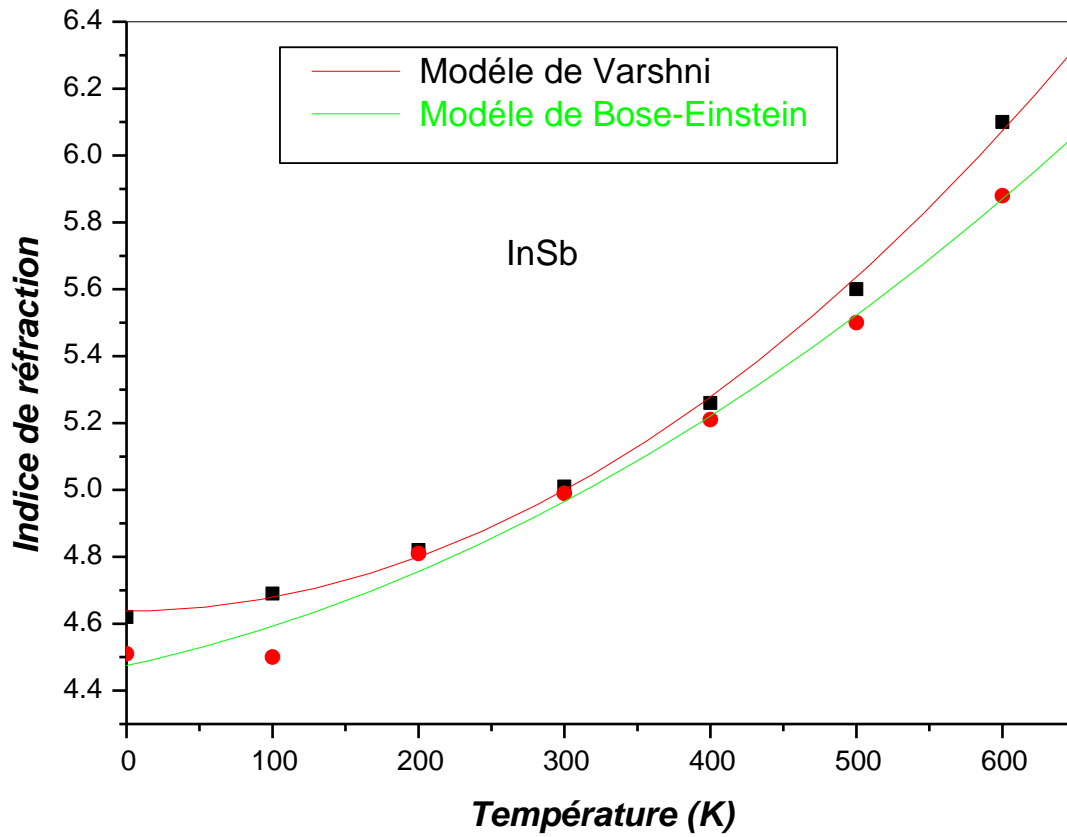


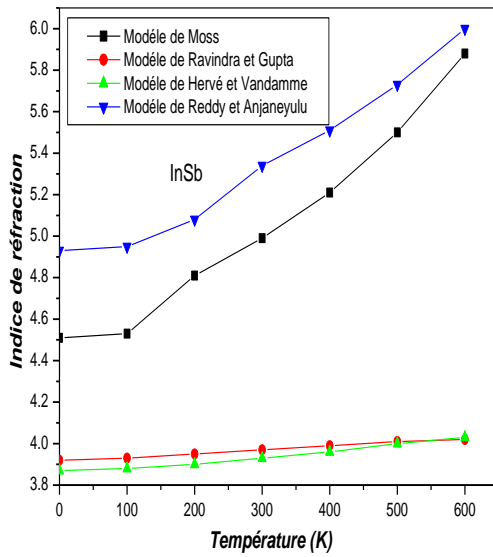
Figure III-11) Variation de l'indice de réfraction en fonction de la température du semi-conducteur InSb.

et les interpolation qui sont donnée par les équation suivantes:

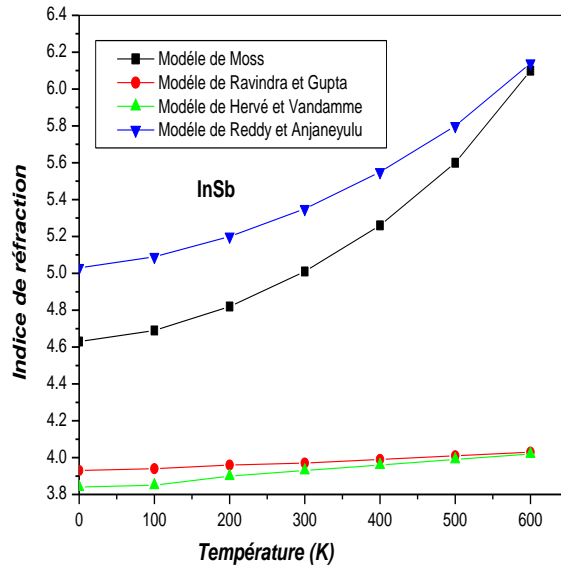
$$n=5.035+2.500T-2.691 T^2 \quad \text{modèle } \epsilon_{\infty} \text{ (III-25)}$$

$$n=4.897+7.710T+1.809 T^2 \quad \text{modèle de Varshni.} \quad \text{(III-26)}$$

Peut conclure que tous les modèles présentent le même comportement qualitativement l'indice de réfraction en fonction de la température. Néanmoins, au point de vue qualitative on remarque qu'il y'a une différence entre les différents modèles utilisés.



(a)



(b)

Figure III-12) Variation de l'indice de réfraction n en fonction de la température du InSb pour quatre relations et le graphe(a) pour modèle de Varshni et le graphe (b) pour modèle Bose-Einstein.

Nous avons aussi regroupés nos résultats dans la même figure pour tous les modèles optiques en utilisant les modèles de Varshni représentés dans la figure (III-12-a) et le modèle de Bose-Einstein montré sur la figure (III-12-b). Ces figures confirment que la tendance de l'indice de réfraction est la même quel que soit le modèle utilisé quoiqu'il.

Il y a une différence qualitative entre les différents modèles.

III-3) L'effet de la température sur les propriétés diélectriques

III-3-1) La constante diélectrique de haute fréquence (ϵ_∞)

Basé sur les valeurs calculées de n obtenues à partir des quatre relations la constante diélectrique

de haute fréquence (ϵ_∞) a été calculée pour différentes températures du InSb, dans l'intervalle 0 à 600 K, à l'aide de la relation suivante:

$$\epsilon_\infty = n^2 .$$

Tableau III-4) Calcule de la canstante diélectrique de haute fréquence (ϵ_{∞}) pour InSb en fonction de la température.

T(K)	ϵ_{∞} calculé à partir différents models							
	Model(1)		Model(2)		Model(3)		Model(4)	
	Eqautin (a)	Eqautin (b)	Eqautin (a)	Eqautin (b)	Eqautin (a)	Eqautin (b)	Eqautin (a)	Eqautin (b)
T=0	21.43	20.34	15.50	15.36	14.75	14.99	25.33	24.30
T=100	22.01	20.43	15.56	15.44	14.83	15.08	25.93	24.50
T=200	23.29	23.13	15.68	15.60	15.26	15.27	27.04	25.8024
T=300	25.13 15.6 ^b	24.90 15.6 ^b	15.81 15.6 ^b	15.76 15.6 ^b	15.48 15.6 ^b	15.49 15.6 ^b	28.69 15.6 ^b	28.51 15.6 ^b
T=400	27.67	27.14	15.96	15.92	15.70	15.74	30.80	30.42
T=500	31.36	30.25	16.20	16.08	15.94	16.00	33.64	32.84
T=600	37.21	34.67	16.24	16.16	16.16	16.29	37.69	36.01

^b Valeur expérimentale indiquée dans Ref [46]

Nos résultats sont illustrées dans le tableau(III-4), qui centient aussi la calcule expérimentale représentée par C.Kittel.

An remarque que le modèle de Hervé et al, donne la valeur la plus proche .

La varaition de la canstante diélectrique de haute fréquence (ϵ_{∞}) en fonction de la température est illustrée dans la figure (III-13) en utilisant le modèle de Varshni tandisque la variation de (ϵ_{∞}) en fonction de la température en utilisant le modèle de Bose-Einstein est montrée dans la figure (III-14).

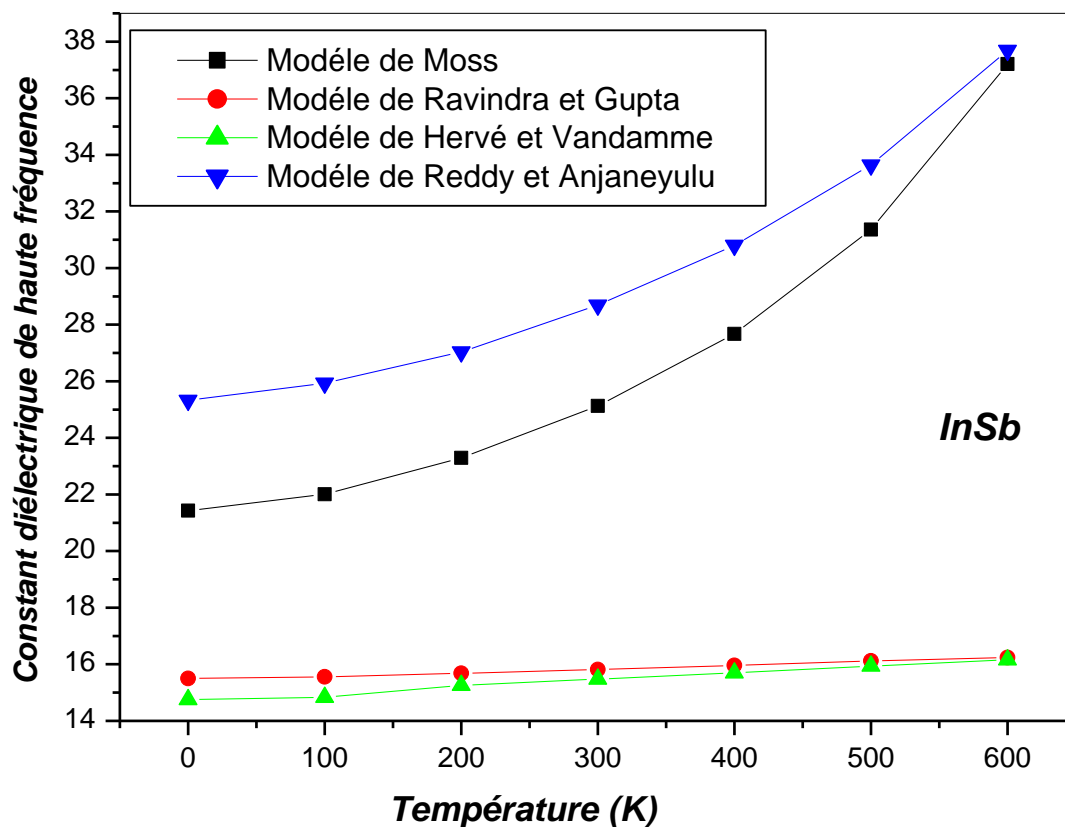


Figure III-13) Variation de (ϵ_{∞}) en fonction de la température en utilisant le modèle de varshni.

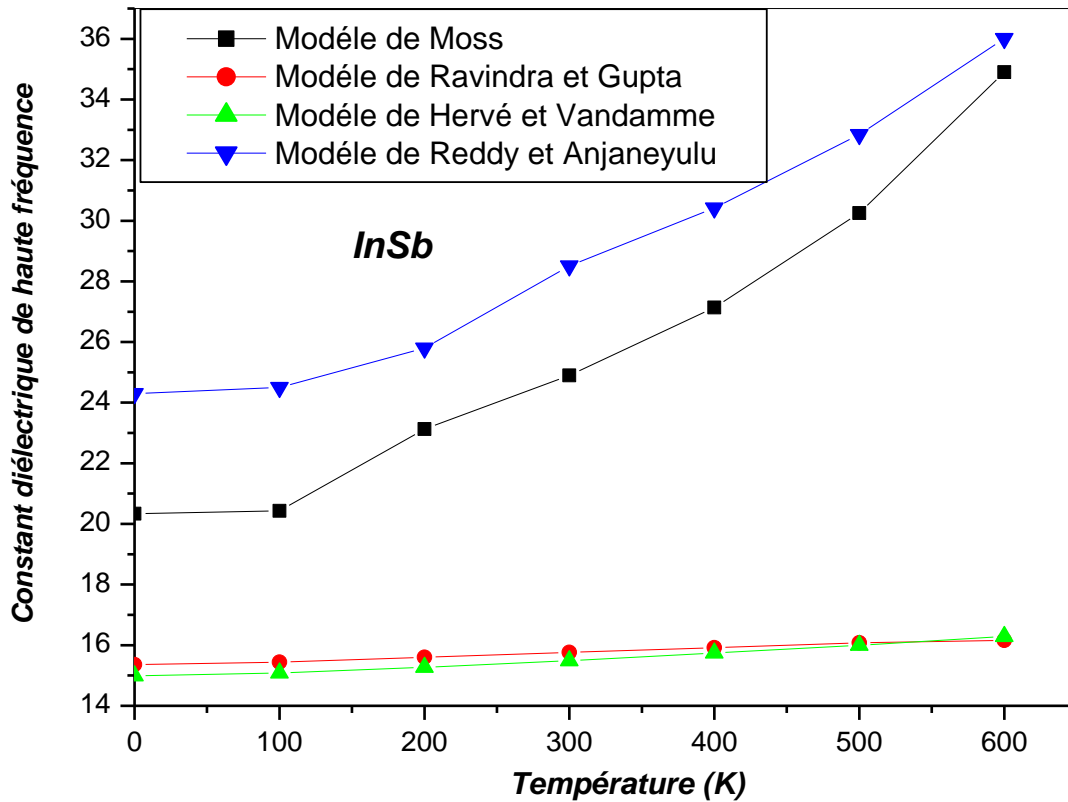


Figure III-14) Variation de (ϵ_{∞}) en fonction de la température en utilisant le modèle de Bose-Einstein.

On remarque que (ϵ_{∞}) augmente lorsque la température augmente, l'augmentation de la constante diélectrique conduit à l'augmentation de la densité de flux électrique permet au semiconducteur InSb de tenir sa charge électrique pendant de longues périodes de température ayant ainsi des grandes quantités de charge.

Généralement, les semi-conducteurs à haute fréquence diélectrique sont utilisés dans la fabrication des conducteurs de grandes capacités.

Conclusion générale

Dans ce présent travail, nous avons étudié les propriétés électroniques et optiques du semi-conducteur InSb qui cristallise dans la phase zinc-blende. Nous avons examiné la variation de ces propriétés en fonction de la température.

A température ambiante, nos résultats étaient comparés à ceux de l'expérience montrant un bon accord, ce qui a permis de conclure que le modèle utilisé est valable pour cette étude.

Nos résultats ont montrés que le bande interdite énergétique étudiée diminue non linéairement et de façon monotone avec la température. Aucune transition de bande interdite dans l'intervalle 0-600 K n'a été observé. Cela a suggéré que le semi-conducteur sous investigation reste toujours un semi-conducteur a bande interdite directe dans l'intervalle de température 0-600 K. L'indice de réfraction a été calculé on utilisant quatre modèles. Ce dernier augmente avec la température en exhibant un comportement non linéaire et monotone, ce qui a permis d'en conclure que l'indice de réfraction augmente lorsque la bande interdite diminue. Le constant diélectrique de haute fréquence augment avec l'augmentation de la température.



Références bibliographiques

- [1] Bahi Wafa .les semi-conducteurs binaires utilisés dans les composants optoélectronique. Mémoire de master université de KasdiMerbah .2014
- [2] H.Mathieux, «Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques», 6 Ed. DUNOD (2009)
- [3] K.Singh, R.K. Pathak, Electrochim. Acta 39 (1994) 2693.
- [4] Fabien GUILLOT. Développement de nanostructures à base de semi-conducteurs III-Nitrures pour l'optoélectronique infrarouge. These doctorate. L'université Joseph Fourier – GrenobleI.2007
- [5] Sadao ADACHI.GUMMA properties of semiconductor alloys: Group semiconductor. University. Gummua. Japan.
- [6] G. Olivier, “mécanique quantique approfondie “,O.P.U.1983
- [7] Frederic P Miller, Agnes F vandomejhonMcBrewster, ”Semiconductor”, VDM Publishing House Ltd, 2010
- [8] KARA MOHAMED Wahiba les structure de bande électronique et les Propriétés relatives aux semi-conducteurs quasi binaire $(\text{GaP})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$. Thèse de doctorat université Mohamed khider de Biskra (Algérie).2012
- [9] physique des semi-conducteurs Fondamentaux – Isolant, semi-conducteur , conducteur
- [10] Y.Quéré « physique des matériaux », Ellipses, Paris, 1988
- [11] P.Y.YU AND M.CARDONA, «Fudametls of semiconductors: physics and materials proprieties», springer-Verlag Berlin Heidelbeg New-york, 2001.
- [12] C.kittel,” Physique de l’etat solide “, Dunoduniversite ,2001
- [13] G. Olivier, “mécanique quantique approfondie “, O.P.U.1983
- [14] P.Y.Yu and M.Cardona ,”Fudametals of semiconductors: physics and materials
- [15]Mme Ben Ahmed Ben abdallâh Nadia Propriétés physiques des semi-conducteurs (Si monocristallin et Ge) et Simulation des cellules solaires à base de Si et SiGe. Thèse de magister .université Abou bekrbelkaid-Tlemcen (Algérie).2006
- [16] Noudjoud LEBGA. Propriétés structurales, élastiques et optiques de semi-conducteurs à grand gap : Les composés B-V, les alliages $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$ et $\text{ZnSe}_{1-x}\text{Te}_x$, le $\beta\text{-SiC}$ thèse doctora.2011

- [17] F. Mezrag, Thèse de doctorat, Univ Mohamed Khider Biskra (2012).
- Jérôme fais. Introduction à la physique des semi-conducteurs. Université de Neuchâtel .2001
- [18] M. Labidi, Thèse de doctorat, Univ Badji Mokhtar Annaba (2011).
- [19] O. BAHY « Les semi-conducteurs binaires utilisés dans les composants optoélectronique. Mémoire Master Académique. Université KasdiMerbah Ouargla
- [20] Jérôme fais. Introduction à la physique des semi-conducteurs. Université de Neuchâtel .2001
- [21] N. Benahmed Ben abdallah Thèse de Magister, Université Abou bekr Belkaid-Télemcen (2006)
- [22] M. Labidi, Thèse de doctorat, Univ Badji Mokhtar Annaba (2011).
- [23] Jeans-Marc Frigerio Institut des NanoSciences de Paris. Ecole d'automne "MODELISATION" (2004)
- [24] James D. Patterson, Bernard C. Bailey, Solid-state physics "Introduction to the Theory" October (2005).
- [25] S. Licht, Electrochem. Soc. (Interface) 6 (1993) 37.
- [28] W. Kara Mohamed, Thèse de doctorat, Univ Mohamed Khider Biskra (2012).
- [29] F. Mezrag, Thèse de doctorat, Univ Mohamed Khider Biskra (2012).
- [30] G. Roosen, « Matériaux semi-conducteurs III-V, II-VI et nitrures pour L'optoélectronique », Ed. Hermes Science (2003).
- [31] Francis Lévy, " physique et technologie des semi-conducteurs ", édition première, 1995, lausanne.
- [32] C. Kittel, « Physique de l'état solide », Ed. Dunod University (1983).
- [33] Fabien GUILLOT. Développement de nanostructures à base de semi-conducteur III-Nitrures pour l'optoélectronique infrarouge. Thèse doctora .l'Université Joseph Fourier – Grenoble I.2007.
- [34] N. BAGHDADLI étude des propriétés optoélectronique des semi-conducteurs III-V à base de Galium. Thèse magister. Université Abou -Bakrbelkaid– Tlemcen (Algérie). 2009
- [35] Djamel TRARI Propriétés Electroniques du YVO_3 , $CaVO_3$ et Leur Composé $Y_1-xCaxVO_3$. Thèse magister. Université Abou bekerbelkaid-Tlemcen (Algérie). 2010
- [36] Resultats de S. N. Sahu et al. Phys. status Solidi B 122, 661 (1984)

- [37] N. Bouarissa, *Infrared phys. Technol.* 38(1997) 153.
- [38] Valentin JEAN]. Modélisation du transport de phonons dans les semi-conducteurs Nanostructures. Thèse doctorat. De l'Université de Lorraine (France).2014
- [39] T.S. Moss, *Proc. Phys. Soc. B* 63 (1950) 167.
- [40] V.P. Gupta, N.M. Ravindra, *Phys. Stat. Sol. (b)* 100 (1980) 715.
- [41] P. Hervé, L.K.J. Vandamme, *Infrared Phys. Technol.* 35 (1994) 609.
- [42] R. Reddy, S. Anjaneyulu, *Phys. Stat. Sol. (b)* 174 (1992) K91.
- [43] N.M. Ravindra, P. Ganapathy, J. Choi, *Infrared Phys. Technol.* 50 (2007) 21.
- [44] R.R. Reddy, Y.N. Ahammed, *Infrared Phys. Technol.* 36 (1995) 825.
- [45] P.Hervé, L. K. J. Vandamme, *Infrared phys. Techrol.*35 (1994) 609.
- [46] C. Kittel, *Introduction to solid-state physics, fisfth ad, lxlilery, New York, 1976.*

Résumé :

Les semi-conducteurs III-V, font un sujet d'actualité, vu les multiples applications technologiques, ils ont des propriétés Physiques qui peuvent être mises à profit pour des applications en optoélectronique.

Dans cette contribution, nous avons étudié l'effet de la température sur les propriétés électroniques et optiques en utilisant deux approches différentes à savoir : l'approche de Varshni et celui de Bose-Einstein. Nos résultats ont montrés un bon accord avec ceux de l'expérience. La variation des paramètres étudiés en fonction de la température a montré une tendance non-linéaire et monotone. Aucune transition de bande interdite dans l'intervalle 0-600 K n'a été observé.

Mots clés : bande interdite, indice de réfraction, fonction diélectrique, InSb, température.

Abstract :

III-V compound semiconductors are used as the basis for numerous optoelectronic applications.

In the present contribution we have studied the effect of temperature on electronic and optical properties using two different approaches: Varshni approach and Bose-Einstein approach. Our results showed a good agreement with experiment. The variation of the studied parameters as a function of temperature showed a non-linear and monotone behavior. No gap transition has been observed when changing the temperature from 0 to 600 K.

Key words: Gap, refractive index, dielectric function, InSb, temperature.

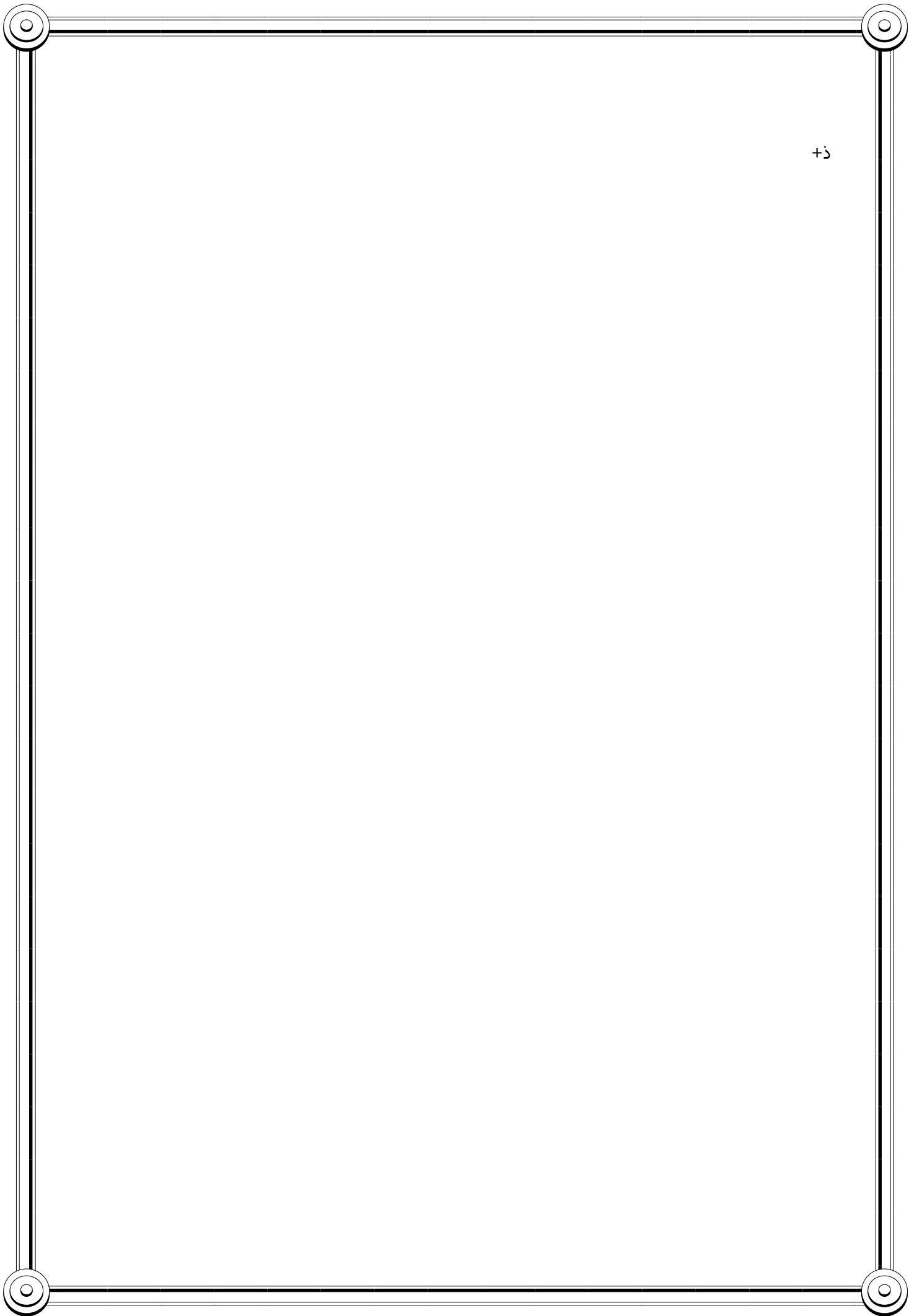
ملخص :

تعتبر أشباه النواقل III-V من المواضيع المدروسة حديثا، لكونها تحتوي على عدة تطبيقات تكنولوجية وخصائص فزيائية التي يمكن الاستفادة منها في التطبيقات كهروضوئية .

في هذه المساهمة قمنا بدراسة تأثير الحرارة على الخواص الالكترونية و الضوئية، وذلك باستعمال منهجيتين مختلفتين: منهجية Varshni ومنهجية Bose-Einstein و وجدنا أن نتائجنا تتفق مع النتائج التجريبية.

وأن تغير الخصائص المدروسة بدلالة الحرارة يبين أن هنالك توجه غير خطي ورتيب كما بينت نتائجنا أنه لا يوجد في طبيعة فجوة الطاقة في المجال الحراري 0-600 K .

الكلمات المفتاحية: عصابة الطاقة، قرينة الانكسار، دالة العزل الكهربائي، InSb، الحرارة.



+3