

# إيجاد مدى وقدرة الإيقاف لدقائق ألفا وبيتا في أشباه الموصلات النقية والمطعمة

رسالة مقدمة إلى  
مجلس كلية العلوم – جامعة بابل  
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير  
في علوم الفيزياء

من قبل  
صبا عبد الزهرة عبيد



ذي الحجة ١٤٢٦

كانون الثاني ٢٠٠٦

**DETERMINATION OF THE RANGE AND  
STOPPING POWER OF ALPHA AND BETA  
PARTICLES IN PURE AND DOPED  
SEMICONDUCTORS**

**A Thesis  
Submitted to the Council of College of Science  
University of Babylon  
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Physics**

**By  
Saba Abed AL-Zahra Obead**



**١٤٢٦ Thee-Alheja**

**٢٠٠٦ January**

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اللّٰهُ الَّذِیْ یُرْسِلُ الرِّیَاحَ فَتَنفِثُ سَحَابًا فَبِیْسُطُهُ فِی السَّمَاءِ  
كَيْفَ یَشَاءُ وَیَجْعَلُهُ كُهْفًا فَتَرَى الْوَدْقَ یَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ  
فَإِذَا أَصَابَ مَنْ یَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ یَسْتَبْشِرُونَ

(٤٨)

صدق الله العلي العظيم

سورة الروم (الآية ٤٨)

# H شكر وتقدير G

أبدأ شكري بمن يستحق الشكر والثناء والتقدير الواحد الأحد وهو بالشكر جدير وبالحمد والتسبيح عليم خبير والصلاة والسلام على محمد المصطفى وعلى وآله الطيبين الطاهرين.

أتقدم بالشكر الجزيل إلى الدكتور فيصل علي مصطفى البصام لاقتراحه موضوع البحث ومتابعته العلمية وتوجيهاته القيمة في أثناء مدة البحث، كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى الدكتور خالد حسين هاتف العطيه لرعايته ومتابعته المستمرة وتقديمه المساعدة والمشورة العلمية. كذلك أقدم شكري وتقديري إلى رئيس قسم الفيزياء في كلية العلوم/ جامعة بابل وإلى عمادة كلية العلوم التي منحتني فرصة التحصيل الدراسي وإلى كافة أساتذة قسم الفيزياء وأخص بالذكر منهم الأستاذ رحيم كعيد المرشدي والأستاذ عدنان الأعرجي لما أبدوه من مساعدة في أثناء كتابة البحث.

كذلك أتقدم بالشكر والامتنان إلى جميع طلبة الدراسات العليا في قسم الفيزياء/ كلية العلوم على ما لقيت منهم من حسن الأخلاق والمساعدة التي غمروني بها طوال مدة إعداد البحث. وأتوجه بشكري إلى منتسبي قسم الفيزياء وأخص الست سهير عزيز والأنسة سها طه على التسهيلات التي لقيتها.

وأخيراً أتقدم بشكري وتقديري لأهلي الذين ساعدوني مادياً ومعنوياً على إكمال دراستي وأسأل الله عز وجل أن يوفق الجميع لما فيه الخير والصالح.

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

صبا

# الإهداء

إلى مدينة العلم ومعلم البشرية الأول، حبيب الله ورسوله الكريم  
... محمد (صلى الله عليه وآله وسلم)

إلى الذي أهدى لي سنين عمره ... وواجه الهموم بصبره

## M

إلى التي زرعتني في الحياة بذرة ... وسقتني من دمها قطرة بعد

## M

قطرة ... كفلاح ينتظر من زرعه ثمره

## M

إلى من عاش الحياة مرارتها وأعطاني حلاوتها . . . ربي حبيب

إلى الذين اسمهم في القلب محفور ... الذين ضحوا من أجلي دهور

## M

... وأعطوني من المحبة بحور

## M

إلى التي لها مكانه في قلبي وأنارت بضحكتها دربي ... ربي

إلى كل من يستحق أهدي ماوفقتني إليه ربي ... راجياً القبول

## M

# a

## قرار المشرفين على الرسالة

نشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ "إيجاد مدى وقدرة الإيقاف لدقاتق ألفا وبيتا في أشباه الموصلات النقية والمطعمة" قد جرى بإشرافنا في قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع  
المشرف: د. خالد حسين هاتف  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠

التوقيع:  
المشرف: د. فيصل علي مصطفى  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم للبنات / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠

## توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءً على التوصيات المتوافرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:

الاسم: د. طالب هادي قدوري  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: / / ٢٠٠

# ز

## إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة نشهد أن الرسالة الموسومة بـ "ايجاد مدى وطاقة الازاحة لدقائق الفا وبيتا في اشباه الموصلات النقية والمطعمة" وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها ووجدنا أنها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير في الفيزياء.

### رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

### عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

### عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: د.

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

### عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: د.

المرتبة العلمية:

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

### عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: د.

المرتبة العلمية:

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

## مصادقة عميد كلية العلوم

التوقيع:

الاسم: د. عوده مزعل ياسر

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: ٢٠٠٥/ /

# ز

## إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة نشهد أن الرسالة الموسومة بـ " إيجاد مدى وقدرة الإيقاف لدقائق ألفا وبيتا في أشباه الموصلات النقية والمطعمة " وقد ناقشنا الطالبة في محتوياتها ووجدنا أنها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير في الفيزياء.

### رئيس اللجنة

التوقيع:  
الاسم: د. عامر عبد الأمير  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم / جامعة كربلاء  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

### عضو اللجنة

التوقيع:  
الاسم: د. غالب عبد الوهاب الدهش  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم للبنات / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

### عضو اللجنة

التوقيع:  
الاسم: د. احمد محمود عبد اللطيف  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

### عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:  
المشرف: خالد حسين هاتف  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

### عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:  
المشرف: د. فيصل علي مصطفى  
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد  
العنوان: كلية العلوم للبنات / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

## مصادقة عميد كلية العلوم

التوقيع:  
الاسم: د. عوده مزعل ياسر الزاملي  
المرتبة العلمية: أستاذ  
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل  
التاريخ: / / ٢٠٠٦

# *Abstract*

In this researcher ,a theoretical study was applied for the subject of nuclear particles crossing through semiconductor materials with different velocities, depending on the type and energy of the radioactive source using the branch program (ZRATIO) which was written with the main program in Fortran language (V<sup>V</sup>) .

The linear stopping power for heavy and light nuclear particles has been calculated in this program which results from the sum of two types of the collisions, to get formula for calculating the total stopping power which depends on the charge and velocity of the incident particle depending on the radioactive isotopes energy for alpha and beta particles .It has been found that it decreases with increase of energy particle. Also, the displacement energy ( $E_d$ ) has been calculated from (ZRATIO) program which depends on the collision atomic mass (M) for silicon and germanium and on the minimum energy of incident electrons that increases with the increase of nuclear particle .

The range for silicon and germanium has been calculated by semiempirical formula. It has been found that doping with elements form the third group (B, Ga, Al)and fifth group (As , Sb , P) of the periodical table has a remarkable effect on the effective range of alpha and beta particles. It is shown that that the increase of percentage weight of each dopant element causes an increase of the effective range for both alpha and beta particles in silicon and germanium. Also, it is found that the range of alpha and beta particles increases with the increase of their energy. The agreement is fair between the results of the present work and the experimental results of some researchers.

# الخلاصة

تم في هذا البحث تطبيق دراسة نظرية لموضوع الجسيمات النووية المارة خلال المادة شبه الموصلية، والتي تتحرك بسرعات مختلفة حسب نوع وطاقة النظير المشع، من خلال الاعتماد على البرنامج الفرعي (ZRATIO) الذي تمت كتابته مع البرنامج الرئيسي المكتوب بلغة الفورتران (٧٧). وتم حساب قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات النووية الثقيلة والخفيفة في هذا البرنامج الناتجة عن حاصل جمع نوعين من التصادمات ومن ثم الحصول على صيغة لحساب قدرة الإيقاف الكلية التي تعتمد على شحنة وسرعة الجسيم الساقط، اعتماداً على طاقات النظائر المشعة لجسيمات ألفا وبيتا، ووجدت إنها تقل بزيادة طاقة الجسيمة. كذلك تم حساب طاقة الإزاحة ( $E_d$ ) من البرنامج (ZRATIO)، والتي تعتمد على كتلة ذرة الاصطدام ( $M$ ) للسليكون والجرمانيوم وعلى أقل طاقة للإلكترونات الساقطة ( $E_{min}$ )، والتي تزداد مع زيادة طاقة الجسيمة النووية. وتم حساب المدى لشبه الموصل (السليكون والجرمانيوم) المحسوبة بعلاقة شبه تجريبية، وقد وجد إن التطعيم بالعناصر الثلاثية (Al, Ga, B) والعناصر الخماسية (As, Sb, P) من الجدول الدوري تسبب زيادة المدى المؤثر وتبين أن الزيادة في النسب الوزنية %wt (0.05, 0.1, 0.5) في كل عنصر مطعم يسبب زيادة في المدى المؤثر لجسيمات ألفا وبيتا في السليكون والجرمانيوم. ووجد بأن مدى جسيمات ألفا وبيتا يزداد بزيادة طاقتها، وقد أعطت النتائج النظرية توافقاً تقريبياً مع النتائج العملية لعدد كثير من الباحثين.

## قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	البند
I	الخلاصة	
II	قائمة المحتويات	
VI	قائمة الرموز	
IX	قائمة الأشكال	
XIII	قائمة الجداول	

### الفصل الأول: المقدمة

١	مقدمة عامة	(١-١)
٤	أشباه الموصلات	(٢-١)
٥	أشباه الموصلات البلورية	(١-٢-١)
٥	أشباه الموصلات متعددة التبلور	(٢-٢-١)
٧	أشباه الموصلات العشوائية	(٣-٢-١)
٧	أشباه الموصلات المباشرة وغير المباشرة	(٣-١)
٨	حزم الطاقة في أشباه الموصلات	(٤-١)
١١	المانحات والقبالات	(٥-١)
١٤	تأثير التطعيم في أشباه الموصلات	(٦-١)
١٦	الامتصاص الضوئي والانتقالات الإلكترونية	(٧-١)
١٧	الانتقالات الإلكترونية المباشرة	(١-٧-١)
١٧	الانتقالات الإلكترونية غير المباشرة	(٢-٧-١)
١٨	الأشعة النووية الطبيعية	(٨-١)
٢٠	أنواع الأشعة	(٩-١)
٢٠	الجسيمات المشحونة ألفا ( $\alpha$ )	(١-٩-١)

الصفحة	الموضوع	البند
٢١	الجسيمات المشحونة بيتا ( $\beta$ )	(٢-٩-١)
٢٣	أشعة كاما ( $\gamma$ )	(٣-٩-١)
٢٤	مدى وتأين الجسيمات المشحونة	(١٠-١)
٢٥	قدرة الإيقاف النووية	(١١-١)
٢٦	قدرة الإيقاف الإلكترونية	(١٢-١)
٢٧	الإزاحة الذرية بالإشعاع	(١٣-١)
٢٨	تأثيرات الإشعاع في أشباه الموصلات	(١٤-١)
٣٠	الدراسات السابقة	(١٥-١)
٣٧	الهدف من البحث	(١٦-١)

### الفصل الثاني: الجانب النظري والإجراءات الحسابية

٣٨	المقدمة	(١-٢)
٣٩	معادلة بيتا- بلوخ لقدرة الإيقاف الخطية	(٢-٢)
٤٢	قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات المشحونة في أشباه الموصلات	(٣-٢)
٤٥	فقدان طاقة الإشعاع في المادة	(٤-٢)
٤٦	علاقة الطاقة مع المدى والتأين النوعي (قدرة الإيقاف)	(٥-٢)
٤٨	طاقة إزاحة لجسيمات بيتا	(٦-٢)
٥٠	سمك المادة الممتصة (سمك الامتصاص) وتحديد مدى جسيمة ألفا	(٧-٢)
٥٢	سمك المادة الممتصة وتحديد مدى جسيمة بيتا	(٨-٢)
٥٥	تأثير التطعيم العالي والواطئ في أشباه الموصلات	(٩-٢)
٥٦	تطعيم أشباه الموصلات نوع (p,n) بالتركيز الوزنية	(١٠-٢)
٥٨	النسب الوزنية للمطعمات	(١١-٢)
٦٩	تأثير التطعيم في المدى الفعال لجسيمات ألفا وبيتا	(١٢-٢)

الصفحة	الموضوع	البند
٦١	تفاعلات تأين الإشعاع مع أشباه الموصلات	(١٣-٢)
٦٤	أنواع ضرر الإشعاع على المواد شبه الموصلة	(١٤-٢)
٦٥	العيوب الإشعاعية في النبائط	(١٥-٢)
٦٦	العيوب الإلكترونية في أشباه الموصلات	(١٦-٢)
٦٧	برنامج الحاسبة المستعمل	(١٧-٢)

### الفصل الثالث: النتائج والمناقشة

٦٩	حساب قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات ألفا وبيتا في أشباه الموصلات (-dE/dX)	(١-٣)
٧٣	حساب معدل جهد التهيج أو التأين لذرات المادة	(٢-٣)
٧٤	حساب طاقة الإزاحة لجسيمات بيتا ( $E_d$ )	(٣-٣)
٧٦	حساب مدى ألفا في الهواء ( $R_{air}$ )	(٤-٣)
٧٧	حساب المدى في شبه الموصل (السليكون والجرمانيوم) لجسيمات ألفا وبيتا	(٥-٣)
٧٩	حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة ألفا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الثالثة من الجدول الدوري	(٦-٣)
٨٤	حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة ألفا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري	(٧-٣)
٨٨	حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة بيتا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الثالثة من الجدول الدوري	(٨-٣)
٩٢	حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة بيتا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري	(٩-٣)
٩٦	الاستنتاجات	(١٠-٣)
٩٧	الدراسات المستقبلية	(١١-٣)
٩٨	المصادر	

الصفحة	الموضوع	البند
A	الخلاصة باللغة الإنكليزية	

## قائمة الرموز

الوصف	الرمز
فجوة الطاقة الممنوعة	$E_g$
تركيز الإلكترونات	$N_n$
تركيز الفجوات	$N_p$
متجه الموجه	$\Delta K$
طاقة الفوتون	$E_p$
طاقة الفجوة للمدار	$E_g^{opt}$
طاقة الفوتون	$E$
تردد الأشعة الكهرومغناطيسية	$\nu$
ثابت بلانك	$h$
قدرة الإيقاف النووية	$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{nuclear}$
قدرة الإيقاف الإلكترونية	$\left(\frac{d\ell}{dx}\right)_{electronic}$
مدى الجسيمات النووية	$R$
الإزاحة الثانوية	$S(E)$
الإزاحة الثانوية	$E_d$
كتلة الجسيمة (البروتون)	$M_p$
الطاقة العظمى للجسيمات الساقطة	$W_{max}$
كتلة ذرة السليكون أو الجرمانيوم	$M$
المجهر الإلكتروني ذو الفولتية العالية	<b>HVEM</b>
طاقة الارتداد	$E_R$
العدد الذري لشبه الموصل	$Z_1$
العدد الذري للنظير المشع	$Z_2$
شحنة الإلكترون	$e$
كتلة الجسيمة الساقطة (ألفا أو بيتا)	$M$
النسبة بين سرعة الجسيمة الساقطة إلى سرعة الضوء في الفراغ	$\beta$
سرعة الجسيمة الساقطة	$\nu$
سرعة الضوء في الفراغ	$c$
معدل جهد التهيج للإلكترونات	$\langle I \rangle$

الوصف	الرمز
قدرة الإيقاف النسبية	$\delta$
كتلة الإلكترون	$m_e$
دالة الإيقاف النسبية	$\psi(z)$
طاقة تهيج الإلكترونات	$E_n$
دالة طاقة التهيج	$f$
قدرة الإيقاف الخطية	$S$
عدد التوقف الابتدائي	$L$
التغير في الطاقة العظمى	$\Delta E_{\max}$
ثابت	$K$
عدد النويات لوحدة الحجم	$N$
ثابت	$\epsilon_0$
عدد أفكادرو	$N_A$
العدد الكتلي للمادة شبه الموصلة	$A$
كثافة المادة شبه الموصلة	$\rho$
القوة	$F$
التغير في الزمن	$dt$
مشتقة الزمن بالنسبة للمسافة	$\frac{dt}{dx}$
أقل طاقة للإلكترونات الساقطة	$E_{\min}$
كتلة ذرة السليكون	$M_{Si}$
كتلة ذرة الجرمانيوم	$M_{Ge}$
مدى ألفا في الهواء	$R_{air}$
شدة الحزمة الإلكترونية المنبعثة	$I$
شدة الحزمة الإلكترونية الساقطة	$I_s$
المسافة المقطوعة	$X$
معامل امتصاص الكتلة	$\mu$
سمك المادة الممتصة	$T$
أعظم مدى جسيمة بيتا	$R_{\max}$
طاقة جسيمة بيتا	$E_{\beta}$
استطارة إلكترون-فجوة	$(e-h)$
المدى للسليكون أو الجرمانيوم	$R_1$
المدى للعناصر المطعمة الثلاثية أو الخماسية	$R_2$
كثافة السليكون أو الجرمانيوم	$\rho_1$
كثافة العنصر الثلاثي أو الخماسي المطعم	$\rho_2$
العدد الكتلي للسليكون أو الجرمانيوم	$A_1$
كثافة العنصر الثلاثي أو الخماسي	$A_2$

الوصف	الرمز
النسبة الوزنية	$W_i$
العدد الكتلي المؤثر	$A_{eff}$
العدد الذري المؤثر	$Z_{eff}$
الكثافة المؤثرة	$\rho_{eff}$
المدى المؤثر	$R_{eff}$

## قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
٦	أنواع حزم الطاقة عند درجة حرارة الصفر المطلق	(١-١)
٦	أنواع أشباه الموصلات من حيث تركيباتها الداخلية	(٢-١)
٩	يبين ذرة الجرمانيوم النقية	(٣-١)
١٠	أنواع أشباه الموصلات الذاتية ( Intrinsic ) والشائبة ( Impurity )	(٤-١)
١١	يبين موقع كل من الإلكترونات في حزمة التوصيل والفجوات في حزمة التكافؤ بالنسبة لأشباه الموصلات الذاتية	(٥-١)
١٦	نوع شبه الموصل نوع N السالب و شبه الموصل نوع P الموجب	(٦-١)
١٨	يوضح أنواع الانتقالات	(٧-١)
٢٢	طيف طاقة أشعة بيتا	(٨-١)
٢٦	مسارات الأشعة في المادة ومدى اختراق تلك الجسيمات الوسط المادي	(٩-١)
٢٧	العلاقة بين لوغاريتم قدرة الإيقاف الخطية $\text{Log}(S)$ و لوغاريتم سرعة الجسيمة $\text{Log}(v)$	(١٠-١)

## VIII

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
٤٣	العلاقة بين قدرة الإيقاف الخطية والطاقة لجسيمات مختلفة في السليكون	(١-٢)
٤٧	العلاقة بين التأين النوعي والطاقة المتبقية	(٢-٢)
٤٧	نفاذية أشعة ألفا خلال المادة	(٣-٢)
٥١	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع معدل المدى لنظائر مشعة مختلفة	(٤-٢)
٥٢	الاستطارة المرنة لجسيمة بيتا بوساطة التفاعل الكولومي	(٥-٢)
٥٣	الامتصاص الخطي لإشعاع بيتا ونفوذ الأشعة داخل المادة	(٦-٢)
٥٥	الانحراف الحاصل في السمك الخطي للمادة	(٧-٢)
٦٨	المخطط الانسيابي لبرنامج الحاسبة	(٨-٢)
٧٠	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع قدرة الإيقاف الخطية في عنصر السليكون النقي	(١-٣)
٧٠	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع قدرة الإيقاف الخطية في عنصر الجرمانيوم النقي	(٢-٣)
٧١	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع قدرة الإيقاف الخطية في عنصر السليكون النقي	(٣-٣)
٧١	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع قدرة الإيقاف الخطية في عنصر الجرمانيوم النقي	(٤-٣)
٧٥	العلاقة بين طاقات جسيمة بيتا مع طاقة الإزاحة في عنصر السليكون النقي	(٥-٣)
٧٦	العلاقة بين طاقات جسيمة بيتا مع طاقة الإزاحة في عنصر الجرمانيوم النقي	(٦-٣)
٧٧	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع مدى جسيمات ألفا في الهواء	(٧-٣)
٧٨	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع مداها في السليكون والجرمانيوم النقي	(٨-٣)
٧٩	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع مداها في السليكون والجرمانيوم النقي	(٩-٣)
٨٠	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالبورون	(١٠-٣)
٨١	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالكاليوم	(١١-٣)

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
٨١	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالألمنيوم	(١٢-٣)
٨٢	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالبورون	(١٣-٣)
٨٢	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالكاليوم	(١٤-٣)
٨٣	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالألمنيوم	(١٥-٣)
٨٥	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالفسفور	(١٦-٣)
٨٥	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالانتيمون	(١٧-٣)
٨٦	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالزرنيخ	(١٨-٣)
٨٦	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالفسفور	(١٩-٣)
٨٧	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالانتيمون	(٢٠-٣)
٨٧	العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالزرنيخ	(٢١-٣)
٨٩	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالبورون	(٢٢-٣)
٨٩	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالكاليوم	(٢٣-٣)
٩٠	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالألمنيوم	(٢٤-٣)
٩٠	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالبورون	(٢٥-٣)
٩١	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالكاليوم	(٢٦-٣)
٩١	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالألمنيوم	(٢٧-٣)
٩٣	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالفسفور	(٢٨-٣)
٩٣	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالانتيمون	(٢٩-٣)
٩٤	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالزرنيخ	(٣٠-٣)
٩٤	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالفسفور	(٣١-٣)
٩٥	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالانتيمون	(٣٢-٣)
٩٥	العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالزرنيخ	(٣٣-٣)

## قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
١٩	النظائر المشعة للجسيمات ألفا وبيتا وطاقتها بوحدة ( MeV )	(١-١)
٥٨	التراكيز الوزنية للعناصر الثلاثية والخماسية في حالات تطعيم السليكون والجرمانيوم	(٢-٢)
٦٣	بعض الخصائص الذاتية للسليكون والجرمانيوم	(٣-٢)
٧٣	القيم العملية والنظرية لقدرة الإيقاف الخطية لعنصري السليكون والجرمانيوم	(١-٣)
٧٤	النتائج العملية والنظرية لمعدل جهد التهيج أو التأين لمادتي السليكون والجرمانيوم	(٢-٣)
٧٥	القيم العملية والنظرية لطاقة الإزاحة لجسيمة بيتا لعنصري السليكون والجرمانيوم	(٣-٣)
٨٠	القيم العملية والنظرية للمدى المؤثر لأشعة ألفا في السليكون المطعم بالكاليوم	(٤-٣)

# الفصل الأول

## المقدمة

### Introduction

#### 1-1: مقدمة عامة *General Introduction*

عُتُّ أشباه الموصلات كصنف أساسي ومتميز من المواد الصلبة، ولقد تمكن باحثوها من دراسة جوانبها النظرية عن طريق خواصها الرئيسية. فالتطور الملحوظ في أشباه الموصلات المتكاملة قد حفز المهتمين بشكل كبير لأجراء عمليات تصنيعية أساسية. إذ تصنف الاجهزة المصنوعة من أشباه الموصلات إلى صنفين رئيسيين: الصنف الاول يتضمن اجهزة أشباه الموصلات الحجمية المطعمة بطريقة مناسبة مع وجود وصلات أومية في نهايتي تلك المادة، وهي تستند في عملها إلى المؤثرات المهمة ومنها، تغير درجة الحرارة، سقوط الضوء، تأثير هول (Hall effect)، تأثير كان (Gunn effect) [١].

أما الصنف الثاني فيتضمن أجهزة اشباه الموصلات ذات الوصلة، ويشمل الداودات بأنواعها المختلفة والترانسستورات والدوائر المتكاملة (Integrated Circuit) والنبائط (Devices) والأغشية الرقيقة والاجهزة ذات التطبيقات المتعددة مثل الثايرستورات (Thyristors) التي تتغير خواصها الكهربائية بتعرضها إلى الجسيمات النووية [١].

وأن تفاعل إشعاع بيتا أو الفا يحدث على شكل تأين أو تهيج، حالما تدخل الجسيمات الحجم الفعال، بعد أن تسير تلك الجسيمات مسافة صغيرة من مداها. كذلك توضيح عملية الاشابة بالنسبة لأشباه الموصلات ( السليكون والجرمانيوم ) بالعناصر ثلاثية التكافؤ في الجدول الدوري التي تشمل: الالمنيوم (AL)، البورون (B)، الكاليوم (Ga)، والعناصر خماسية التكافؤ في الجدول الدوري التي تشمل: الفسفور (P)، الزرنيخ (As)، الانتيمون (Sb)، كذلك كانت قدرة الايقاف الخطية للجسيمات النووية في اشباه الموصلات التي تعتمد على السرعة الكلاسيكية لتلك الجسيمات ومن ثم تؤثر في مسارها الخطي وفي عملية الاختراق في المادة، أما المدى المطلوب لأختراق تلك الجسيمات النووية الثقيلة والخفيفة فإنه يتأثر بعدد كثير من العوامل المحسوبة بطرائق شبه تجريبية [٢].

أثيرت دراسة التأثيرات الإشعاعية في المواد الصلبة، قبل ما يقرب أكثر من ستين سنة مضت، وذلك من خلال تطور المفاعلات النووية، فقد تنبأ ( Wigner, ١٩٤٣ ) بوجود إضرار إشعاعية في أجزاء من المفاعل، نتيجة امتصاصه لأغلب الطاقة الناتجة من تفاعلات الانشطار النووي ( Nuclear Fission Reaction )، وادركت حقيقة عملية تغيير خواص المادة الصلبة بالنتشيع مباشرة، قبل اجراء التطبيقات الحديثة في تطعيم اشباه الموصلات، لهذا كان بالأمكان ان تتغير عدد من خواص المادة الصلبة، مثل السلوك الكهربائي بإضافة الشوائب أو بالضرر الإشعاعي [ ٣ ] .

لقد كان التوجه باستعمال الموحدات البلورية بصفة كواشف لقياس الجرع الإشعاعية لكل من النيوترونات، وأشعة كاما، بيتا، أو ألفا، بسبب إن أضرارها ليست محسوسة أو تكاد تكون مهملة لاسيما بالنسبة لإشعاع كاما، وتم اخذ قدرة الإيقاف لجسيمات ألفا وبيتا في المادة بنظر الاعتبار لتقدير المدى المطلوب لكي تتحدد من خلاله الإزاحة الذرية للجسيمات الإشعاعية [٤]. لهذا من الضروري معرفة التغيير الحاصل في المدى المؤثر (الفعال)، بالاعتماد على الإعداد الذرية والكتلية المؤثرة او الفعالة بعد التطعيم، باستعمال طاقات النظائر المشعة للجسيمات، لذلك تركزت الدراسات الحديثة على استعمال طاقات النظائر المشعة لألفا وبيتا وعلاقتها بالسرع الكلاسيكية تبعاً للنظرية المحسوبة من خلالها، ومن ثم التركيز على الجوانب التي تؤثر في تصنيع الوحدات الالكترونية المختلفة [٣، ٤] .

لقد تضمن الفصل الأول من الدراسة البحثية عرضاً مبسطاً لأشبه الموصلات من حيث خواصها وتصنيفاتها الرئيسية الثلاث للتركيب الداخلي، كذلك بينت الآثار الايجابية والسلبية من خلال استعمال التطعيم الثلاثي والخماسي لأشبه الموصلات ومدى تأثير التطعيم في بعض خواص تلك المواد. كذلك تأثير حزم الطاقة لأشبه الموصلات في حزمي التكافؤ والتوصيل والامتصاص الضوئي وأنواع الانتقالات الالكترونية، فضلاً عن ذلك تم ايضاح انواع الاشعة النووية التي اشتملت عليها دراستنا وهي جسيمات الفا وبيتا المشحونة، وإمكانية اختراق تلك الجسيمات الثقيلة والخفيفة المواد شبه الموصلة، وعلى أساسه وضحنا نوعي قدرة الإيقاف وتأثير كل نوع في المادة شبه الموصلة والتميز الكامل بينهما. ومعرفة قدرة الايقاف الكلية ومدى توقف تلك الجسيمات في المادة، والمعتمدة على النظائر المشعة التي تختلف بطاقتها في كل من الفا وبيتا، واخيراً تمت دراسة تأثير الاشعاع في المواد شبه الموصلة إذ تركز الاهتمام على الاضرار الاشعاعية الناتجة في الجرمانيوم وما يتسبب عنها من عيوب ضمن موحدات الاغشية

الريقة لأشباه الموصلات، ومن ثم معرفة التشويب الحاصل في أجهزة القياسات الالكترونية والكهربائية المصنوعة من المواد شبه الموصلة التي تؤدي إلى تلف تلك الأجهزة.

## ٢-١: أشباه الموصلات

### *Semiconductors*

تعرف أشباه الموصلات بأنها مواد عازلة عند درجات الحرارة الواطئة ولكنها يمكن أن تمتلك قدرًا من التوصيلية عند ارتفاع درجة حرارتها أو تعرضها للضوء أو من خلال تطعيمها بعناصر مشوبة، وحسب نظرية الحزم (Band Theory) فإن المادة شبه الموصلة تمتلك حزمتين إحداهما مملوءة بالإلكترونات تدعى بحزمة التكافؤ (Valence Band) والأخرى فارغة تدعى بحزمة التوصيل (Conduction Band)، وبينهما فجوة تدعى بفجوة الطاقة الممنوعة (Forbidden Energy Gap) ( $E_g$ ) هي الطاقة اللازمة لرفع الإلكترون من حزمة التكافؤ (V.B) إلى حزمة التوصيل (C.B) ويبين الشكل (١-١) أنواع حزم الطاقة عند درجة حرارة الصفر المطلق، وبشكل عام فإن أشباه الموصلات تمتلك الخصائص الآتية [٥]:

١. يبدي شبه الموصل ذو النقاوة العالية توصيلية ذاتية (Intrinsic Conductivity) ولا يظهر ذلك عند درجات الحرارة الواطئة. ولذلك يوجد مدى ذاتي لدرجة الحرارة (Intrinsic Temperature Range) لا يحدث خلاله تغير أساسي في الخصائص الكهربائية لشبه الموصل بسبب عدم احتوائه على الشوائب (Impurities).

٢. تزداد توصيليتها بارتفاع درجة الحرارة أي أن لها مقاومة ذات معامل حراري سالب.

٣. تمتلك أشباه الموصلات نوعين من حاملات الشحنة (Charge Carriers) (إلكترونات، فجوات).

٤. تتصف أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة عند احتوائها على شوائب ذات صفات

خاصة، حيث أن إدخال شوائب في موصل نقي بنسبة ١٪ قد تغير توصيليته بعامل قد تصل قيمته إلى مليون أو أكثر [ ١ ].

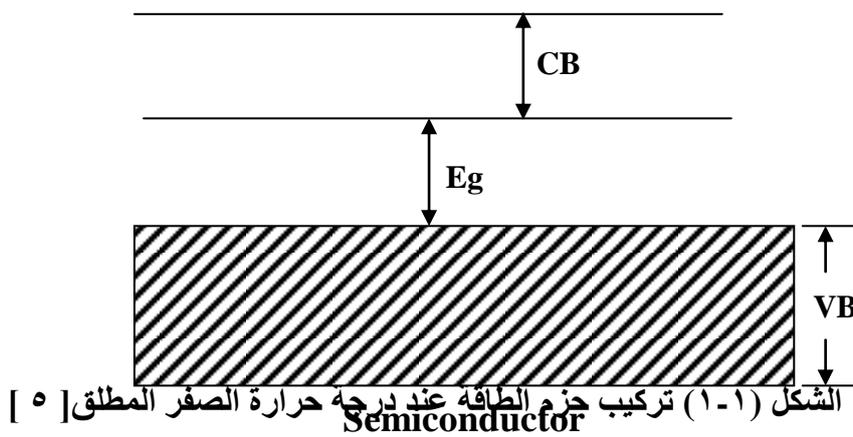
إن أشباه الموصلات يمكن تصنيفها بحسب تركيبها الداخلي إلى الأصناف الآتية:

## ١-٢-١ أشباه الموصلات البلورية *Crystalline Semiconductors*

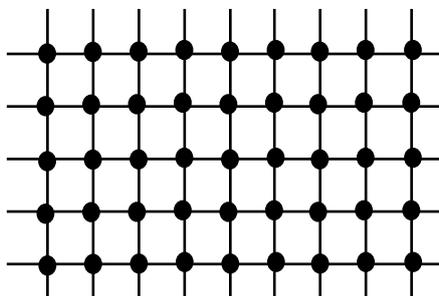
إن البلورة المثالية هي عبارة عن مجموعة من الذرات مرتبة بشكل شبكية (Lattice) تعيد نفسها بشكل دوري في الأبعاد الثلاثة بصورة مستمرة، ويعرف ذلك بترتيب المدى الطويل (Long Range Order) الذي تتحقق عنده أقل طاقة داخلية حرة لمنظومة الذرات والشكل (١-٢-١) (a) يوضح أشباه الموصلات البلورية [٦].

## ٢-٢-١ أشباه الموصلات متعددة التبلور *Polycrystalline Semiconductors*

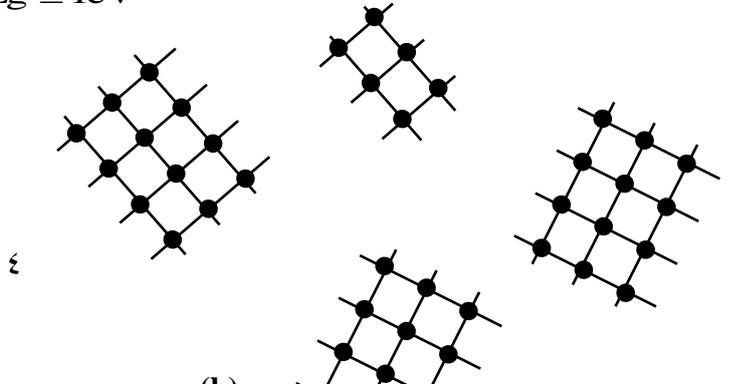
وهي المواد المتكونة من مجموعة بلورات صغيرة تدعى الحبيبات البلورية (Crystal Grains) التي تمتلك كل منها ترتيب مدى طويل. وتتميز أشباه الموصلات متعددة التبلور بوجود تكسر في الأواصر عند سطح الحبيبات. كما إنها أقل استقراراً ثرموداينميكياً من المواد مثالية التبلور. لأن الطاقة الحرة تتحد بطاقة حدود الحبيبات (Grain Boundary) والشكل (١-٢-١) (b) يوضح أشباه الموصلات متعددة التبلور [٧].



$$E_g \cong 1eV$$



(a)



(b)

الشكل ( ٢-١ ) يبين أنواع أشباه الموصلات من حيث تركيباتها الداخلية  
( a ) التركيب البلوري ( b ) التركيب متعدد التبلور ( c ) التركيب العشوائي [ ٧ ]

### ٣-٢-١ أشباه الموصلات العشوائية *Amorphous Semiconductors*

وهي تلك التي تتصف بانعدام الترتيب المنتظم للذرات إذ أن الخلايا نفسها لا تمتد لأكثر من بعد واحد أو بعدين على الأكثر ويدعى هذا الترتيب بترتيب المدى القصير (Short Range Order). كما أنها تتصف بعدم وجود تكسر في أوامر التركيب الداخلي وتكون هذه الأوامر ذات أطوال وزوايا غير متساوية والشكل يبين أشباه الموصلات العشوائية (١-٢-٢).  
اكتشفت أشباه الموصلات العشوائية في أوائل الخمسينات من القرن العشرين وأظهرت دراسة خواصها أنها لا تقل أهمية عن أشباه الموصلات البلورية. إذ وجد أنها ذات نقاوة عالية وسهلة التحضير [ ٨ ].

### ٣-١: أشباه الموصلات المباشرة وغير المباشرة

#### *Direct and Indirect Semiconductors*

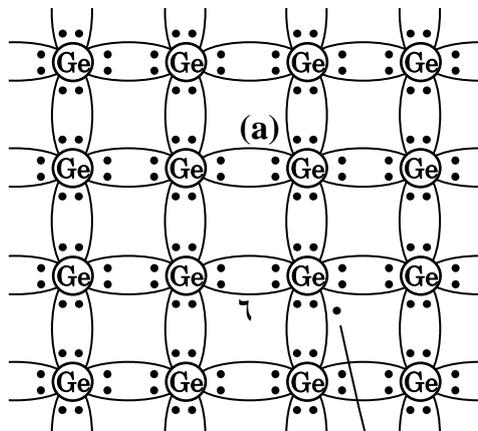
تصنف أشباه الموصلات إلى صنفين بالنسبة لموقعها في الجدول الدوري، فالعناصر في العمود الرابع في الجدول الدوري تسمى بأشباه الموصلات الذاتية، مثل الجرمانيوم Ge والسليكون Si، وهناك نوع آخر من أشباه الموصلات، وهو عبارة عن مركبات تتكون من عنصرين أو أكثر، مثل زرنيخات الكاليوم GaAs والمؤلف من عنصرين هما الكاليوم Ga من عناصر المجموعة الثالثة، والزرنيخ من عناصر المجموعة الخامسة. ويعرف شبه الموصل من هذا النوع بشبه الموصل المركب [ ٩ ]، ويوجد تصنيف آخر لأشباه الموصلات اعتماداً على نوع

فجوة الطاقة. النوع الاول شبه الموصل ذو فجوة الطاقة غير المباشرة مثل السليكون Si. والنوع الثاني شبه الموصل ذو فجوة الطاقة المباشرة مثل مركب زرنيخات الكاليوم GaAs. ولا يمكن القول إن جميع اشباه الموصلات المركبة، هي أشباه موصلات ذات فجوة طاقة مباشرة، وانما هنالك تفاوت في ذلك، فالمركب GaP هو شبه موصل ذو فجوة طاقة غير مباشرة [ ٨ ]، وتظهر أهمية التمييز بين هذين النوعين، أشباه الموصلات المباشرة وغير المباشرة، في حالة شبه الموصل المباشر يكون بإمكان الإلكترون الرجوع من أسفل نطاق التوصيل إلى أعلى نطاق التكافؤ من دون حدوث أي تغيير مهم في الزخم، بينما في شبه الموصل غير المباشر يكون من الضروري حدوث تغيير كبير في الزخم [ ١٠ ].

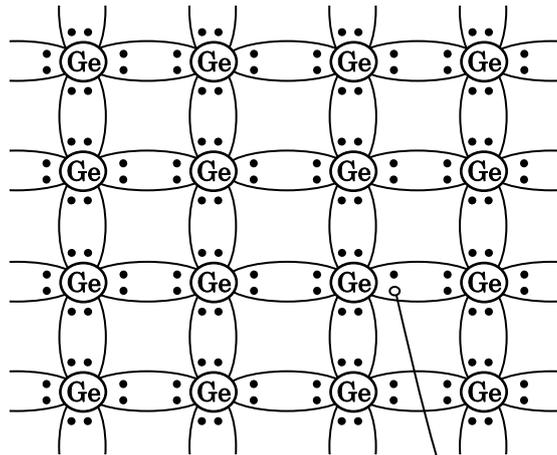
## ٤-١: حزم الطاقة في أشباه الموصلات

### *Energy Bands in the Semiconductors*

بعد أن تقترب الذرات وترتبط مع بعضها بأواصر تساهمية تكون كل ذرة محاطة بأربع ذرات تشارك في ملء الغلاف الخارجي للذرة الوسطية، وهذا يصح لدرجات الحرارة المنخفضة، لكن بزيادة درجة الحرارة فإن بعض الأواصر تنكسر فينتج عن هذه العملية إلكترون حر يتجول بشكل عشوائي داخل البلورة كما موضح في الشكل ( ١-٣ ). وان غياب الإلكترون من الاصرة التساهمية يمثل بدائرة صغيرة، ومثل هذه الاصرة غير الكاملة تسمى فجوة (Hole). ان هذه الفجوة من الممكن ان تكون حاملة للكهربائية كما هو الحال في الإلكترون الحر [ ١١ ]. ويمكن تصنيف اشباه الموصلات إلى مجموعتين، أشباه موصلات ذاتية (Intrinsic Semiconductors)، وأشباه موصلات شائبة (Impure Semiconductors). وكما موضح في الشكل (٤-١)، الأولى تكون نقية وتتكون فيها حاملات الشحنة بواسطة التهيح الحراري أو الضوئي لألكترونات حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل. أما الثانية فهي نوع من انواع اشباه الموصلات التي تكون فيها حاملات الشحنة الرئيسية مجهزة بواسطة ذرات شائبة في مواضع الشبكة البلورية [ ١٠ ، ١١ ]، كذلك يمكن أن نبين موقع الإلكترون والفجوة في حزم الطاقة بالنسبة لأشباه الموصلات الذاتية وكما موضح في الشكل (٥-١).



(a)



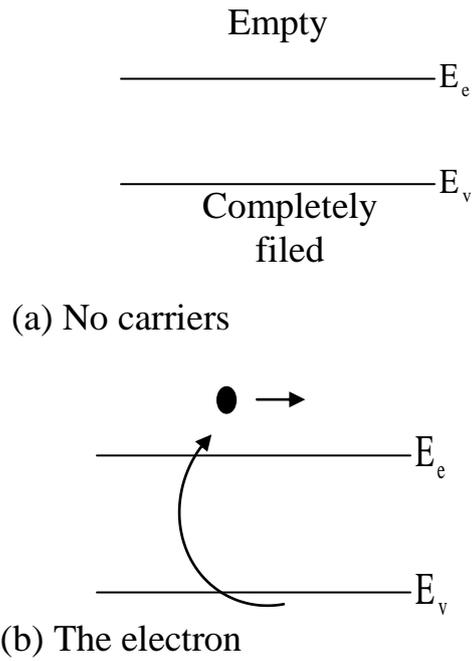
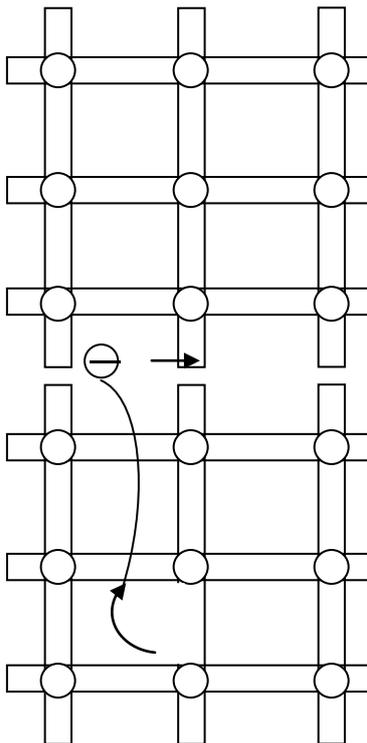
(b)

Hole

الشكل ( ٣-١ ) يوضح ذرة الجرمانيوم النقية [ ١١ ]

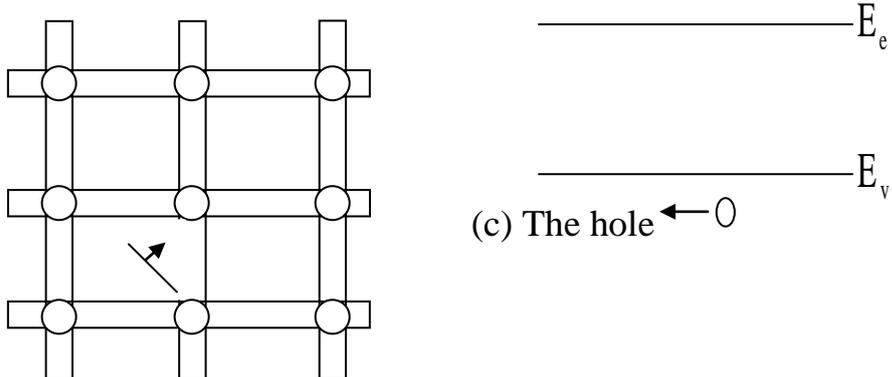
ذرة الجرمانيوم وموقع الفجوة فيه

ذرة الجرمانيوم وموقع الكترولن التوصيل فيها

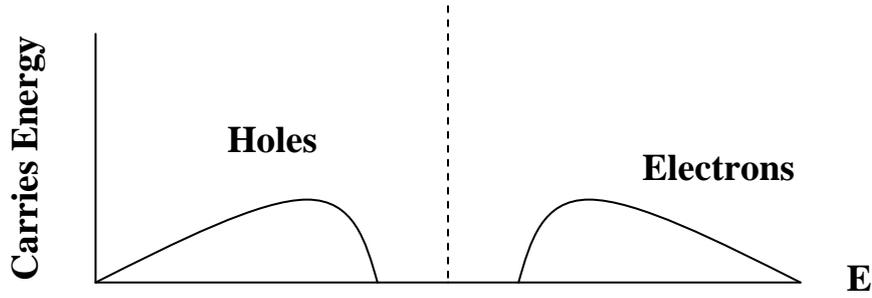


(a) No carriers

(b) The electron



الشكل (٤-١) يبين أنواع أشباه الموصلات الذاتية (Intrinsic) والشائبة (Impure) [١١]



الشكل (٥-١) يبين موقع كل من الإلكترونات في حزمة التوصيل  $E_c$  والفجوات في حزمة التكافؤ بالنسبة لأشباه الموصلات الذاتية [١٠]

## ٥-١: المانحات والقابلات *Donors and Acceptors*

عندما يطعم شبه الموصل يصبح مشوباً (Extrinsic) وتظهر مستويات طاقة في الحزمة الممنوعة نتيجة لنفوذ الشوائب، عندما تستبدل ذرة السليكون أو الجرمانيوم بذرة الزرنيخ وتكوّن اواصر تساهمية مع ذرة شبه الموصل المذكور (Ge، Si) المجاورة لها، فإن الإلكترون الخامس يصبح إلكترون توصيل يذهب إلى حزمة التوصيل، بذلك تسمى ذرة الزرنيخ مانحة، اما اذا استبدلت ذرة الجرمانيوم بذرة المنيوم ذات ثلاث إلكترونات تكافؤ، ستمكن ذرة الالمنيوم من تقبل الإلكترون اضافي ليشكل اربع اواصر تساهمية مع الذرات المجاورة، وقبل هذا الإلكترون يولد فراغاً موجب الشحنة في حزمة التكافؤ، وتدعى ذرة الالمنيوم الذرة القابلة [٤]، ان الزرنيخ الذي هو من المجموعة الخامسة (V) في الجدول الدوري، وله الشكل الإلكتروني  $4s^2 4p^3$ ، وهو خماسي التكافؤ وله سالبية واطئة ويميل لتكوين اواصر زوجية الكترونية، وبزوايا قائمة تقريباً، وفي جميع مركباته، تكون الاواصر تساهمية [١٢].

إن مستويات الطاقة في الفجوة الممنوعة (Forbidden Gap) لاتستعمل لأغراض التعريف مثل الزرنيخ الذي يبين مستويات مانحة قريبة من حزمة التوصيل، كذلك بالنسبة للألمنيوم الذي يبين مستويات قابلة قريبة من حزمة التكافؤ. ويمكن ان تحدد مستويات الحزمة الوسطية بقيم من  $kT$  (٠.٠٢٥٨ eV) [٣]، من مستوى فيرمي، الموجود قرب مركز فجوة الحزمة الذي يزاح عادة باتجاه حزمة التكافؤ أو التوصيل بإضافة مادة متبخرة تحتوي على الزرنيخ او الالمنيوم إلى بخار الجرمانيوم [١٣]، لذلك من السهولة التحول من المانحات إلى القابلات التي يمكن ان تقوم بدور مهم في كل العمليات المشعة وغير المشعة (Radiative and Non-radiative Diffusion Processes).

ومفهوم الخواص الالكترونية لشبه الموصل يمكن ان تتغير بإضافة كمية من الشوائب التي تشغل مواقع تعويضية في الشبكة، هذه التطعيمات تولد بالانتشار الحراري ( Thermal Diffusion )، أو الترذيذ ( Sputtering ) أو الزرع الايوني ( Ion Implantation ) أو بالطرائق الأخرى ( الترسيب الكيماوي أو الفيزيائي للبخر) [ ١٣ ]. فالإضافة المعتمدة للشوائب في اشباه الموصلات تدعى بالتطعيم ( Doping ) ويمكن ان يتغير نوع التطعيم من (n) إلى (p) مثلاً بإضافة اوكسيد الالمنيوم [ ١٤ ]. ويمكن ايجاز طرائق التطعيم بما يأتي :-

### ١- التطعيم بالزرع الايوني ( Doping by Ion Implantation )

وهي طريقة تولد اضراراً عميقة في شبكة البلورة، وتستعمل فيها حزمة ايونية طاقية ببضعة كيلو إلكترون فولت، لإنتاج مطعومات في الطبقة السطحية مولدة موحدات بلورية سطحية ( Shallow Diodes )، في المادة الصلبة. وفي اغلب تجارب الزرع الايوني، تكون الجرعة الايونية في شبه الموصل اقل من  $(10^{11} \text{ ions/cm}^2)$ . يميل سطح الرقاقة إلى ان يكون عشوائياً بحيث يتحطم التركيب البلوري للمادة [ ١٥ ]، وتتولد اضرار وتبقى الشوائب في مواقع تعويضية أو بينية [ ١٦ ] وامكانية اعادة الترتيب تقل بزيادة الجرعة، [ ١٧ ] والضرر الاشعاعي يتولد بتركيز عال على شكل عيوب نقطية بينية ( Interstitial Point Defects ) وعلى شكل فجوات ( Vacancies ) وتحدث تفاعلات عندما تصطدم الجسيمات المشحونة بسطح الهدف [ ١٨ ].

### ٢- التطعيم بالانتشار ( Doping by Diffusion )

وينجز بخطوتين اولهما اولية وهي تمثل عملية ترسيب تمهيدية، التي تتم بوجود مصدر الانتشار وهو من الاكاسيد ( $P_2O_5$ )، إذ تتكون طبقة الاوكسيد على سطح رقاقة (Wafer) شبه الموصل، والثانية زيادة زمن الترسيب ورفع درجة الحرارة، إذ تخترق الشائبة بعمق اكثر من سطح البلورة بينما يبقى تركيز السطح ثابتاً [ ١٥ ]. واغلب التجارب الجارية تنصب على شائبة نوع (n) التي تنفذ داخل رقاقة السليكون المطعمة اولياً بنوع (p)، لذلك يراعى طول الانتشار اسفل السطح الذي يكون فيه تركيز نوع (n) مساوياً إلى تركيز نوع (p) ( $N_n = N_p$ ) لتكوين المفروق (p-n) [ ٢٠, ١٩ ] ويحدد الحد الاقصى من نسبة التطعيم من ذوبانية المطعومات في الصلب [ ٢١ ].

### ٣- التطعيم بالرش ( Doping by Spraying )

وفيها يرذذ المحلول الحاوي على نسب شوائب وزنية على ارضيات من الزجاج او السيراميك او المعدن ولأزمان محددة لتحقيق السمك المطلوب ثم تلدن النماذج لدرجات حرارية معينة [ ٢٢ ].

#### ٤ - التطعيم بطريقة التبخير الحراري المشترك

##### ( Doping by Thermal Co- evaporation)

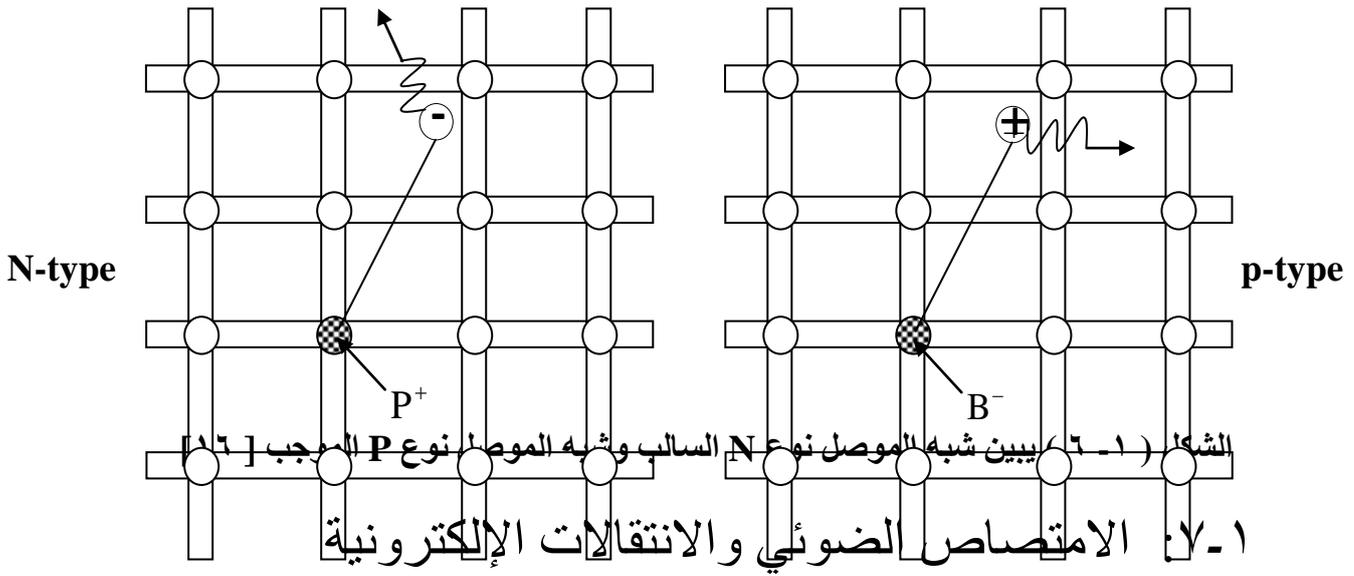
وفي هذه الطريقة يبخر كل من شبه الموصل والمادة المطعمة تبخيراً حرارياً تحت جو مفرغ. ومن مصدرين حراريين منفصلين في ان واحد [ ١٨ ]. ان الفجوات يمكن ان تخلق في نوع من عملية شوتكي ( Schottky Process ) ( وهي ان الذرات تهاجر إلى السطح بعد ان تترك فراغات وراءها ) وعيب فرنكل الذي هو اقل حدوثاً، لأن اغلب عناصر التطعيم الثلاثي والخماسية التكافؤ تذهب إلى مواقع تعويضية في الشبكة المضيفة، بحيث ان ذرات الجرمانيوم المزاحة تجد نفسها عند السطوح الحرة [ ٣ ] .

### ٦-١: تأثير التطعيم في أشباه الموصلات

#### *Effect of Doping on Semiconductor*

تمتلك أشباه الموصلات فجوة طاقة بحدود (١eV) وقيمتها هذه تقع ما بين قيمة فجوة الطاقة للموصل والعازل. كما إن أشباه الموصلات التي تتساوى فيها عدد الإلكترونات المتحركة في حزمة التوصيل (C.B) مع عدد الفجوات (Holes) المتحركة في حزمة التكافؤ (V.B.) تدعى بأشباه الموصلات الذاتية (Intrinsic Semiconductor) [ ١٦ ]. إن خاصية التوصيل الكهربائي والخصائص الأخرى للمادة شبه الموصلة تتأثر بشدة عند إضافة بعض الشوائب إليها أو إحداث بعض العيوب (Defects) فيها، إذ تؤدي إلى تفوق نوع واحد من حاملات الشحنة بالنسبة الى النوع الآخر. لهذا فإن أثر التطعيم يظهر بشكل واضح عند إضافة أحد عناصر المجموعة الثالثة مثل البورون (B) أو الألمنيوم (Al) أو الكاليوم (Ga)، أو أحد عناصر المجموعة الخامسة مثل الفسفور (P) أو الانتيومون (Sb) أو الزرنيخ (As)، إلى العناصر الرباعية مثل السليكون (Si) أو الجرمانيوم (Ge)، إذ إن هذه الذرات الشائبة إما أن تشغل مواقع ذرية الشبكة وتعرف بالشوائب الاستبدالية (Substitution Impurities) أو تتداخل بين المواقع الذرية وتعرف بالشوائب البينية (Interstitial Impurities) [ ١٠ , ١٦ ].

فمثلاً في حالة إضافة الانتيمون (Sb) إلى الجرمانيوم (Ge) تتكون أوامر تساهمية مع ذرات الجرمانيوم المجاورة لها، والإلكترون الخامس يصبح إلكترون توصيل يذهب إلى حزمة التوصيل (C.B). وبذلك تسمى ذرة الانتيمون بالمانحة (Donor) وفي هذه الحالة يتكون مستوى طاقة موضعي ( $E_D$ ) يقع مباشرة تحت حزمة التوصيل داخل فجوة الطاقة يعرف بالمستوى المانح (Donor Level) وأن شبه الموصل المتكون في هذه الحالة هو شبه موصل من نوع سالب (n-type). أما في حالة إضافة الألمنيوم (Al) إلى الجرمانيوم مثلاً فإنه تتكون أوامر تساهمية مع ذرات الجرمانيوم المجاورة لها وتبقى أصرة واحدة ينفصها إلكترون يملأ من خلال تحريك إلكترون من أصرة مجاورة وبذلك تعرف ذرة الألمنيوم بالقبالة (Acceptor)، وفي هذه الحالة يكون مستوى طاقة موضعي ( $E_A$ ) يقع مباشرة فوق حزمة التكافؤ داخل الفجوة المحرمة يعرف بالمستوى القابل (Acceptor Level) وإن شبه الموصل هنا هو من نوع الموجب (P-Type) كما في الشكل (٦-١) [٢٣].



## Optical Absorption and Electronic Transitions

تحدث عملية الامتصاص الضوئي في أشباه الموصلات العشوائية نتيجة لانتقال الإلكترون من مستوى طاقة واطئ (Low Energy Level) إلى مستوى طاقة أعلى (High Energy Level) بسبب إثارة بفوتونات ذات طاقة كافية لنقله بين المستويين، أما عملية الامتصاص في شبه الموصل البلوري فتحدث عند انتقال الإلكترون من حزمة التكافؤ (V.B) إلى حزمة التوصيل (C.B) من خلال امتصاص طاقة الفوتون التي يجب أن تساوي أو تكون أكبر من قيمة الطاقة ( $E_g$ ) [٢٤]. لقد لوحظ تقارب كبير في الامتصاص بين المواد البلورية والعشوائية ولكن الفرق الجوهري يكون في تردد القطع (Cut-off Frequency)، إذ تكون في التراكيب العشوائية أقل منها في التراكيب البلورية، ويعزى ذلك إلى وجود التركيب قصير المدى الذي تتميز به أشباه الموصلات العشوائية وكذلك وجود المستويات الموضعية والذبول داخل فسحة الطاقة [١٦].

ويلاحظ أيضاً أنه في أشباه الموصلات العشوائية حدوث زيادة سريعة في الامتصاص الفوتوني عندما تكون طاقة الفوتون الممتص مساوية تقريباً لعرض فسحة الطاقة الممنوعة (Forbidden Energy).

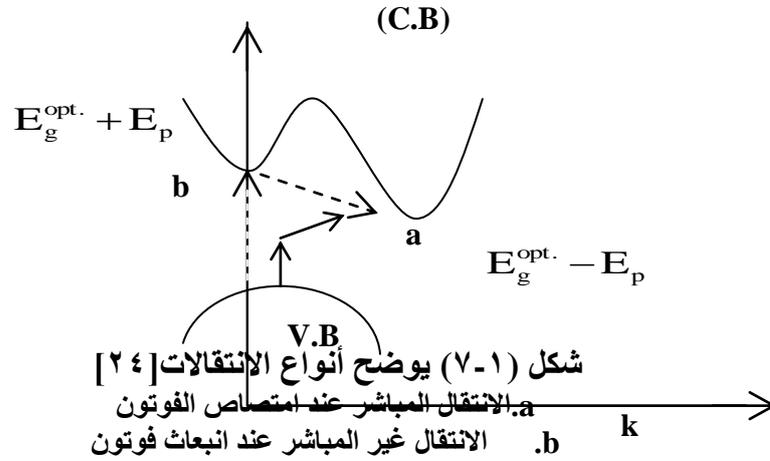
وعند التحدث عن الانتقالات الإلكترونية فإنه يمكننا التمييز بين نوعين منها وهي [٢٥] :-

### ١-٧-١ الانتقالات الإلكترونية المباشرة Direct Electronic Transition

يحدث هذا الانتقال الإلكتروني في شبه الموصل عندما ينتقل الإلكترون من أعلى مستوى طاقة في حزمة التكافؤ إلى أقل مستوى طاقة في حزمة التوصيل دون أن يتبعه أي تغيير في المتجه الموجي (wave vector)  $(\Delta K = 0)$ . وتعرف أشباه الموصلات التي يتحقق فيها هذا الانتقال بأشبه الموصلات ذات فسحة الطاقة المباشرة (Direct Energy Gap) [٢٦].

### ٢-٧-١ الانتقالات الإلكترونية غير المباشرة *Indirect Electronic Transition*

يحدث هذا النوع من الانتقال عندما يتم الانتقال الإلكتروني من أعلى مستوى طاقة في حزمة التكافؤ إلى أقل مستوى طاقة في حزمة التوصيل ويتبعه تغيير في زخم الإلكترون  $(\Delta K \neq 0)$ ، أي أن الزخم غير محفوظ ويتحقق حفظ الزخم بمساعدة الفونون (Phonon) الناتج من اهتزاز الشبكة فإما أن يكون ممتصاً من قبل الإلكترون  $(E > (E_g^{opt} - E_p))$  أو يكون منبعثاً عندما  $(E > (E_g^{opt} + E_p))$  إذ  $E_g$  تمثل طاقة الفجوة للمدار الإلكتروني،  $E_p$  تمثل طاقة الفونون الناتج من الاهتزاز الشبكي والشكل (٧-١) يوضح ذلك [٢٦، ٢٤].



## ٨-١: الأشعة النووية الطبيعية

### *Natural Nuclear Radiation*

يوجد على سطح الأرض وفي باطنها الكثير من العناصر التي تحتوي على نظائر بعضها مشع والآخر مستقر، وقد كان اكتشاف النشاط الإشعاعي في عام ١٨٩٦، على يدهنري بيكرل قد تحقق في خام عنصر اليورانيوم. ففي الطبيعة يوجد حوالي ٣٤٠ نظيراً للعناصر

المختلفة، ٢٠٪ من هذه النظائر ذات نشاط إشعاعي ومعظم النظائر المشعة هي لعناصر ثقيلة، فكل عنصر عدد ذري يزيد على الثمانين له نظائر مشعة. تصنف المصادر الطبيعية للأشعة النووية على الأرض إلى نوعين: الأول مصدره من خارج الأرض. والثاني من أصل تكون قشرة الأرض، وتسمى الأشعة الطبيعية الأرضية. وقد صنفت النظائر المشعة للجسيمات النووية حسب طاقاتها والجدول (١-١) يبين ما يأتي:- [ ٢٧ ]

الجدول(١-١) يوضح النظائر المشعة للجسيمات الفا وبيتا وطاقاتها بوحدات (MeV) [٢٧]

Source of Alpha	Alpha Particle Energy in MeV	Source of Beta	Beta Particle Energy in MeV
$^{148}\text{Gd}$	٣.١٨٠	$^{210}\text{Pb}$	٠.٠٦١
$^{232}\text{Th}$	٤.٠١٢	$^{63}\text{Ni}$	٠.٠٦٧
$^{238}\text{U}$	٤.١٨٠	$^{14}\text{C}$	٠.١٥٦
$^{236}\text{U}$	٤.٤٠٠	$^{147}\text{Pm}$	٠.٢٢٠
$^{230}\text{U}$	٤.٥٩	$^{234}\text{Th}$	٠.٢٦٣
$^{226}\text{Ra}$	٤.٦٨٠	$^{99}\text{Tc}$	٠.٢٩٠
$^{227}\text{Ac}$	٤.٧٧٠	$^{60}\text{Co}$	٠.٣١٠
$^{231}\text{Pa}$	٤.٩٤٠	$^{65}\text{Zn}$	٠.٣٣٠
$^{239}\text{Pu}$	٥.٠٥٠	$^{137}\text{Cs}$	٠.٥٢٣
$^{243}\text{Am}$	٥.١٦٠	$^{36}\text{Cl}$	٠.٧١٤
$^{210}\text{Po}$	٥.٢٧٠	$^{204}\text{Tl}$	٠.٧٦٥
$^{214}\text{Bi}$	٥.٣٠٠	$^{210}\text{Bi}$	١.١٦٠
$^{224}\text{Ra}$	٥.٥٠٠	$^{32}\text{P}$	١.٧١٠
$^{247}\text{Cm}$	٥.٦٨٠	$^{234}\text{Pa}$	٢.٢٣٠
$^{243}\text{Ce}$	٥.٨٠٠	$^{214}\text{Pb}$	٣.٢٨٠
$^{253}\text{Es}$	٦.٠٦٠		

$^{216}\text{At}$	7.73.		
$^{212}\text{Po}$	7.79.		

لقد كان لاكتشاف الأشعة النووية: ألفا وبيتا وكاما، في بداية القرن العشرين، تأثير كبير في تطور الفيزياء الحديثة، إذ استغلت الأشعة النووية في الكثير من التطبيقات وفي وقت قياسي، مقارنة بالاكشافات العلمية الأخرى. فقد احتلت التطبيقات الطبية الموقع الأول لاستغلال الإشعاع ولم يكتف الإنسان بالأشعة النووية المتوافرة في الطبيعة، بل بدأ باستغلال الأشعة النووية لإنتاج المزيد من المواد المشعة فاتحة بذلك مجالات أوسع في الاستعمالات السلمية والعسكرية [٢٨].

## ٩-١ : أنواع الأشعة *Radiation Types*

ينبعث الإشعاع المؤين بأشكال مختلفة، وتعتمد مديات الأشعة المؤينة على طاقاتها ولهذه الأشعة قابليات اختراق مختلفة للمواد، ولطاقاتها قابليات مختلفة لإحداث تغير في الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمادة غير الحية أو المادة الحية. وتقسم إلى عدة أنواع من أهمها جسيمات (دقائق) ألفا وبيتا وأشعة كاما [٢٩].

### ١-٩-١ : الجسيمات المشحونة ألفا ( $\alpha$ ) *Charged Particles (Alpha)*

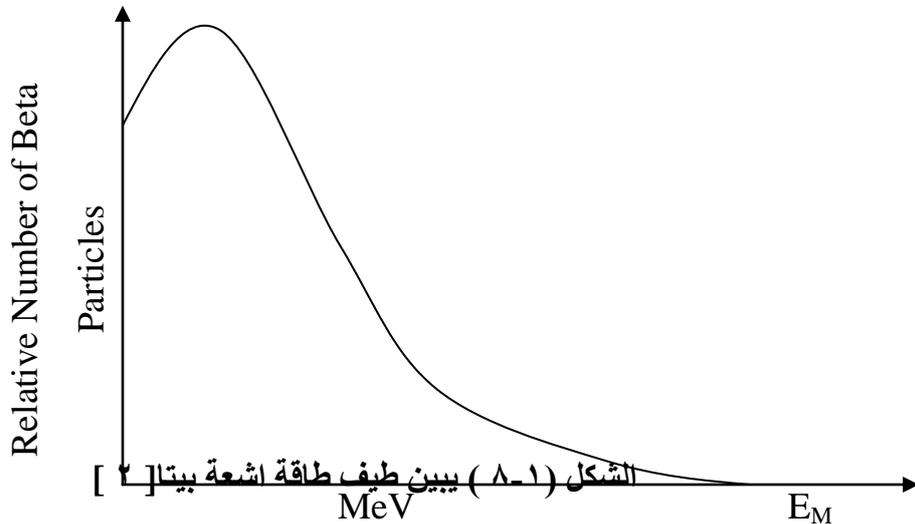
وهي عبارة عن نواة ذرة الهيليوم المتكونة من نيوترونين ( ${}^2n$ ) وبروتونين ( ${}^2p$ )، المنبعثة من العناصر غير المستقرة الثقيلة. وتكون شحنة هذه الجسيمات موجبة ( $+2e$ ) وذات كتلة مقدارها ( $4.0015 \text{ amu}$ ) وبوحدات الكيلو غرام ( $10^{-27} * 6.64$ )، ولها قابلية اختراق قليلة ولا تستطيع المرور عبر عدة صفائح من الورق [٢٩]. وبسبب ذلك فإنها تتحرف ببطء عن مسارها بتأثير المجال الكهربائي أو المجال المغناطيسي، ولكي تمر هذه الجسيمات خلال المادة فإنها يجب إن تمتلك طاقة كافية للاختراق، إذ تجتاز هذه الجسيمات الهواء بدرجة حرارة الغرفة وضغط جوي واحد، وكذلك تستطاع نتيجة دخولها المادة واصطدامها بالإلكترونات الهدف حسب (استطارة رذرفورد) لصفحة رقيقة من الذهب. أما من ناحية فقدان الطاقة لجسيمات ألفا المشحونة فيحدث في مراحل نتيجة التفاعلات التي تحصل مع إلكترونات المادة، إذ أن فقدان الجسيمات لطاقاتها ناتج عن تهيج الإلكترونات ومن ثم امتلاكها طاقة كافية لكي تنتقل إلى مستوى عالٍ، وهذا الفقدان من الطاقة يكون بواسطة التصادمات الكولومية. فالتباطؤ الكلي للجسيمات الثقيلة المشحونة ناتج عن التفاعلات الكولومية مع إلكترونات الذرة وعلى الرغم من هذه التفاعلات، فإن مسار هذه الجسيمات يكون بشكل خط مستقيم على طول المسار بسبب قلة الانحراف الذي تعانيه، وعدم امكانية الذرات المارة خلالها على حرفها [٣٠].

### ٢-٩-١ : الجسيمات المشحونة بيتا ( $\beta$ ) *Charged Particles (Beta)*

هي عبارة عن الكترونات سالبة الشحنة ( $e^-$ ) وسريعة تنبعث من النواة، وتكون كتلة الجسيمة الواحدة فيها تقريباً ( $1/1840$ ) من كتلة البروتون وبوحدات الكيلوغرام تساوي ( $1.67 \times 10^{-27}$ )، وانها تنحرف بقوة عن مسارها تحت تأثير المجالين الكهربائي والمغناطيسي، ويكون الانحراف باتجاه معاكس لاتجاه التيار. اما من ناحية مداها في الهواء فيكون تقريباً ( $50 \text{ cm}$ ) ولذلك تعد جسيمات بيتا ذات نفوذية اكبر من جسيمات الفا، كما انها تمتلك خواص الالكترونات والفرق الاساسي بينها وبين الالكترونات هو انها تنبعث من النواة، أما قدرة التأين فتكون اقل من جسيمات الفا وهذا بدوره يرجع إلى ان سرعة الفا اقل بكثير من سرعة بيتا، على الرغم من تساوي الطاقة، فأن اختلاف الكتل يؤدي إلى تفاعل اكثر ومسار اقصر داخل المادة. وتشير طاقات النظائر المشعة لجسيمة بيتا إلى انها اقل طاقة تتوقف عندها الجسيمة وتسمى ايضاً بطاقة نقطة النهاية (End Point Energy)، وكما موضح في الشكل ( ٨-١) [ ٢ ].

ويمكن أن نوضح أربعا" من العمليات التي تحدث في أثناء مرور جسيمة بيتا في المادة [ ٣١ ]:-

- ١- التأين (Ionization) الذي يرافقه فقدان للطاقة الذي يشابه التأين في جسيمات ألفا.
- ٢- التهيج النووي الذري (Nuclear-Atome Excitation).
- ٣- ظاهرة (Bremstrahlung)، التي تحدث بانبعث أشعة (X-rays) وذلك من خلال التصادمات غير المرنة لجسيمات بيتا مع إلكترونات المادة الممتصة.
- ٤- الاستطارة غير المرنة (Inelastic Scattering) الناتجة من التصادمات الإلكترونية والنوية.





تمتاز هذه الاشعة بكونها موجات كهرومغناطيسية (E.M.) ذات ترددات عالية وقصيرة الطول الموجي، كذلك فإنها عديمة الكتلة، وتلك الموجات لا تعاني انحرافاً عند مرورها في المجالين الكهربائي والمغناطيسي، ويعتمد طول موجتها ( او التردد ) على طاقة استثارة النواة التي تنطلق منها ولها قابلية اختراق كبيرة للمواد. وان طاقة أشعة كاما بشكل عام تعتمد على المستوى الذي تنتقل منه، وان لكل فوتون طاقة معينة تتمثل بالعلاقة الآتية:

$$E = h\gamma$$

حيث E تمثل طاقة الفوتون،  $\gamma$  تردد الاشعة، h ثابت بلانك [٣١].

ان مقدار الزيادة في الطاقة، عندما تكون النواة في حالة الاثارة يعني ذلك انبعاث اشعة

كاما بإحدى الطرائق الآتية :-

١- انبعاث - اشعة كاما.

٢- التحول الداخلي.

٣- خلق الزوج الداخلي.

الانحلال المصحوب بانبعاث اشعة كاما والتحول الداخلي تعد من أكثر الانحلالات وقوعاً [٣٢] ، وان الانحلال الثلاثة هي المسؤولة عنها التفاعلات الكهرومغناطيسية، إذ يكون التحول الداخلي أكثرها شيوعاً في النوى الثقيلة المثارة، اما خلق الزوج الداخلي فيعد الأكثر شيوعاً في النوى الخفيفة المثارة [٣١,٣٢].

## ١٠-١ : مدى وتأين الجسيمات المشحونة

### *Charged Particle Ionization and Range*

إن نفوذ الجسيمات النشطة إلى داخل الوسط يؤدي إلى تفاعلها مع ذرات الهدف. وتلك الذرات تتصادم مع النواة والإلكترونات، ومن ثم يؤدي ذلك إلى فقدان طاقة الأيونات ضمن مدى الطاقة (صفر - ١٠) ميكاليترون- فولت بالنسبة لوحدة الطول [٣٣].

وتقسم قدرة الإيقاف إلى نوعين:

١- قدرة الإيقاف النووية وهي إمكانية فقدان الطاقة الذي سببه التصادمات المرنة بين الأيون ونواة الذرة في الهدف.

٢- قدرة الإيقاف الإلكتروني وهي إمكانية فقدان الطاقة نسبةً للتفاعلات الإلكترونية التي تعتمد على التوزيعات المعتمدة على طبيعة التفاعل.

ويمكن كتابة معادلة قدرة الإيقاف الخطية بالشكل الآتي [٣٤, ٣٣]:

$$S = \left(\frac{dE}{dx}\right) = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{nuclear}} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{electronic}} \quad \dots\dots\dots (١-١)$$

حيث  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{nuclear}}$  تمثل قدرة الإيقاف الخطية الكلية،  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{electronic}}$  تمثل قدرة الإيقاف الإلكترونية.

حيث إن ذلك ناتج عن الطبيعة الاستاتيكية لقدرة الإيقاف في الجسيمة التي لا تعطينا قيمة واحدة فقط للمدى، ولكن تعطينا توزيعاً كاملاً للمديات. ويوصف المدى بمحصلة نهائية لتوزيع التراكيز في الذرات المطعمة [٣٣].

والحسابات العددية للمدى تكون في الأصل دالة للطاقة الأيونية التي تتمثل بنظرية Lind hard, Scharlfond Schiott (LSS-theory) تلك النظرية تتنبأ بالمديات والأيونات الخطية في المواد غير البلورية، الذي يقود إلى شكل المدى الكاوسي. وتحدد المسافة التي تتوقف عندها الجسيمة النووية داخل الوسط من خلال العلاقة الآتية [٣٥] وكما موضح بالشكل (١-٩):

$$R = \int_0^E \frac{dE}{S(E)} \quad \dots\dots\dots (٢-١)$$

حيث تمثل: E الطاقة الابتدائية التي تمتلكها الجسيمة، S قدرة الإيقاف الخطية، R مدى الجسيمات المشحونة.

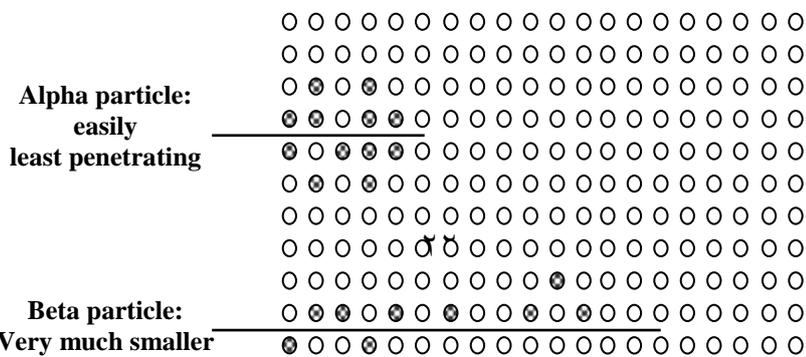
## ١١-١ : قدرة الإيقاف النووية *Nuclear Stopping Power*

تتمثل قدرة الإيقاف النووية بمجموع فقدان طاقة الجسيمات المتحركة الناتجة من التصادمات غير المرنة مع نواة الهدف، إذ إن الطاقة تكون محفوظة بالنسبة للحرارة المفقودة، وتكون كدالة للطاقة الحركية بالنسبة للذرات المنتشرة. وتسمى التصادمات المتسلسلة أيضاً (بحزمة التصادمات) [٣٦]. ومن الصفات الشائعة لقدرة الإيقاف النووية هو أن كل الأيونات تكون كدالة لقدرة الإيقاف النووية بالنسبة للجسيمات الممتاكة أعظم طاقة عند الطاقات الواطنة نسبياً (١ keV/amu) وتقل قدرة الإيقاف النووية بزيادة الطاقة النووية [٣٦, ٣٥].

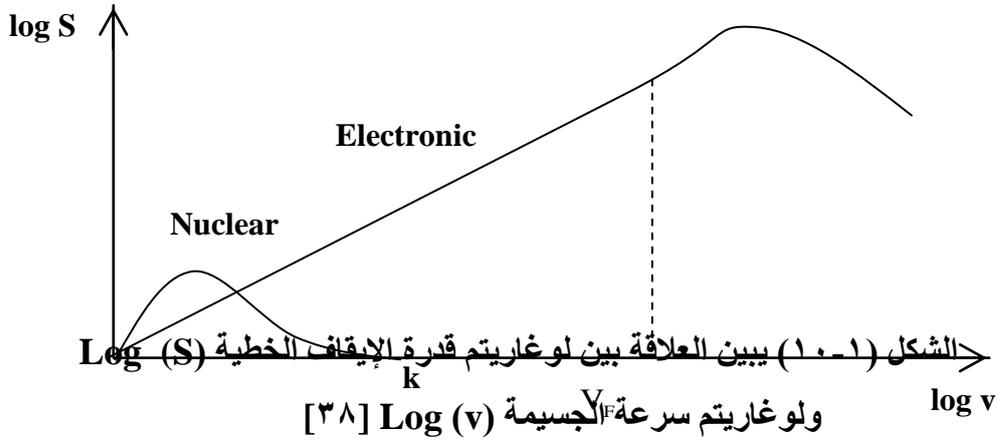
## ١٢-١ : قدرة الإيقاف الإلكترونية

### *Electronic Stopping Power*

قدرة الإيقاف الإلكترونية هو مصطلح شائع بالنسبة لفقدان الطاقة الذي سببه كل العمليات الإلكترونية، حيث إن طاقة الجسيمات المتحركة في المادة لوحدتها الكتلة الذرية أكبر من (١ keV/amu) لفقدان الطاقة الحركية عن طريق قدرة الإيقاف الإلكترونية [٣٨]، عندما تنفذ الجسيمة داخل المادة فأنها تصطدم مع إلكترونات تلك المادة وهي بدورها تكون أما مقيدة الحركة أو حرة والشكل (١-١٠) يوضح العلاقة اللوغارتمية بين قدرة الإيقاف بنوعيه وسرعة الجسيمة الساقطة [٣٧].



الشكل (١-٩) يبين مسارات الاشعة في المادة ومدى اختراق تلك الجسيمات الوسط [٣٥] المادي



١٣-١: الإزاحة الذرية بالإشعاع

### *Atomic Displacement by Radiation*

إن الذرة التي تستلم طاقة كافية وأعلى من طاقة ربط الذرة في مكانها تسمى بطاقة الإزاحة ( $E_d$ ) (Displacement Energy)، عندها تزاح من موقع شبيكاتها إلى موقع آخر [١٨]، فإذا استلمت الذرة أقل من هذه الطاقة، فإن احتمالية إزاحتها صفر، فتبقى الذرة مقيدة في موقع الشبيكة. وتتبدد الطاقة من خلال الحركة الاهتزازية. أما إذا بلغت الطاقة ذرة الشبيكة، باصطدام الجسم بقيمة أكبر من ( $E_d$ ) [٣٩]، فإن احتمالية إزاحتها واحد (Unity)، عندها تقذف الذرة، وتزاح إلى موقع يبني (بين الذرات)، وبعد التهيج الإلكتروني خطوة أساسية لإزاحة الذرات عن مواقعها [٤٠].

وإذا كان الجسم الساقط له كتلة ( $M_p$ ) وطاقة ( $E$ ) فإن أعظم طاقة يمكن للمادة أن تكتسبها وتوضح بالمعادلة الكلاسيكية الآتية [٤١]:-

$$W_{\max} = \frac{4MM_p}{(M + M_p)^2} * E \quad \dots\dots\dots ( ٣-١ )$$

حيث  $W_{\max}$  تمثل الطاقة العظمى التي يمكن أن تكتسبها المادة،  $M$  كتلة ذرة السليكون أو الجرمانيوم،  $M_p$  كتلة الجسيمة الساقطة ( الفاء، بيتا ).

وعندها تتبدد الطاقة الحركية الابتدائية للذرة المزاحة بالتصادم مع الذرات المجاورة، فإذا كانت طاقة الذرة المزاحة أعلى من طاقة الإزاحة ( $E_d$ )، فنستنتج إزاحات ثانوية، تؤدي إلى تكوين أزواج إضافية لـ (فجوة-ذرة طارئة)، أي توليد عيوب مضاعفة. إن هذه الظاهرة تحدث غالباً عند وجود شوائب من ذرات خفيفة في المادة الأصلية كما هو الحال في الجرمانيوم المطعم. وأن المقطع العرضي (Cross Section) للإزاحة الناتجة من تصادم ذرة مع ذرة، يعتمد على كتلة الذرتين المتصادمتين، وعلى نصف قطريهما، وأخيراً فإن عملية تكوين العيوب الثانوية وضحت بدلالة النزوح الحر (Free Migration) للعيوب الأولية (Primary Defects) [ ٤٢].

## ١٤-١ : تأثيرات الإشعاع في أشباه الموصلات

### *Radiation Effects on Semiconductors*

إن دراسة تأثيرات الإشعاع في أشباه الموصلات ضرورية لفهم الطبيعة الفيزيائية لأشباه الموصلات وفي التطبيقات التكنولوجية. ولقد كان التوجه استعمال الموحدات البلورية بصيغة كواشف بقياس الجرعة الإشعاعية لكل من النيوترونات، أو بيتا، أو ألفا بسبب أن أضرارها ليست محسوسة [ ٤٢ ]، أو تكاد تكون مهملة لاسيما بالنسبة لإشعاع كاما. لهذا أمكن معرفة الضرر الإشعاعي، وتحديد الفائدة لكواشف شبه الموصل في تطبيقاتها المختلفة لأنها تمكننا من تقدير المعدل الزمني للتلف بواسطة الإشعاعات المتباينة، وأخذ التحذيرات في تقليل تأثيرات الضرر. لقد تركز الاهتمام على الضرر الإشعاعي للجرمانيوم بسبب ضرورتها النسبية الأكثر من السليكون ضمن موحدات الأغشية الرقيقة لأشباه الموصلات الحالية [ ٤٣ ]. ودرست تأثيرات التشعيع في الجرمانيوم من قبل ( Flanagan and Klontz ) عام (١٩٦٨) في مادة نوع ( n ) أكثر من نوع ( P ) بسبب أن الناتج من العيوب عند درجة الحرارة المنخفضة هو اقل كثيراً في الجرمانيوم نوع ( p )، واستعمل حديثاً المجهر الإلكتروني ذو الفولتية العالية (HVEM) (High Voltage Electron Microscope) لخلق عيوب إشعاعية

بالإلكترونات في أشباه الموصلات بجرع عالية جداً التي يحدث عندها تكثف العيوب وتكوين العناقيد (Clusters) ليصبح المتغلب في المادة عيب الضرر من الإشعاع [٤٤]، ولكي يتم التأكد ان بعض العيوب غير المرغوبة لا تنتج خلال الاضمحلال فحالتان يمكن ان تتحقق:- [٤٣]

a- ان طاقة الارتداد ( $E_R$ ) ( أي الطاقة التي تحصل عليها الذرة نتيجة الارتداد ) يجب ان تكون اقل من طاقة الازاحة ( $E_d$ )، بحيث يحصل للذرة ازاحة من موقعها التعويضي في الشبكة.

b- يجب ان تنتج من الاشعاع الذي يصاحب الاضمحلال بعض العيوب الثانوية (Secondary Defects) الاضافية في البلورة بتركيز واضح.

ان التشعيع بالحزمة الالكترونية في المواد البلورية تنتج عيوباً نقطية، وتحولاً في الطور، ( Phase Transformation ) والعشوائية ( Amorphization )، ويعتمد الضرر الاشعاعي على درجة حرارة التشعيع. تكون كل من عيوب الفجوات والبينيات متحركة، بينما يكون نوع واحد من العيوب ( البينيات ) متحركاً [٤٥].

## ١٥-١ : الدراسات السابقة *Literature Survey*

نستعرض فيما يأتي البحوث والدراسات المتعلقة بإيجاد المدى وطاقة الإزاحة وقدرة الإيقاف لأشباه الموصلات للجسيمات النووية:-

في عام (١٩٥٠) قام (Bradner) [٤٦] بدراسة العلاقة بين المدى والطاقة في المستحلبات النووية (Nuclear Emulsion) (C-٢) (I/ford) باستعمال طاقة البروتون (٣٩.٥ MeV)، أما ضمن الطاقة بين (١٧-٣٣ MeV) فقد أوجد المدى والمستحلب (C-٢)، وكانت النتائج أن المدى في (I/ford glass) يساوي (4%±18) أكبر من المستحلب (C-٢)، كذلك أن الزيادة الناتجة في المدى هي بسبب زيادة قيمة الطاقة للجسيمة.

في عام (١٩٥١) قام (Heller) [٤٧] بإيجاد قدرة الإيقاف في أشباه الموصلات (Ge, Si) وقد اعتمدت القدرة على سرعة الجسيمات النووية و على العدد الذري (Z) للجسيمات بالاعتماد على معادلة بيتا في حالة ( $Z > 10$ )، وقد تم حساب المديات في السليكون والجرمانيوم بالنسبة لطاقت النضائر المشعة (Po, Sr, U, Ra) واوجد المدى للجسيمات الذي يزداد بزيادة الطاقة على عكس قدرة الإيقاف التي تقل بزيادة الطاقة للجسيمات.

في عام (١٩٥٦) قام (Gobeli) [٤٨] بإيجاد العلاقة بين المدى والطاقة بالنسبة لجسيمات ألفا ذات الطاقات الواطئة في (السليكون، الجرمانيوم، النحاس، الألمنيوم) وقد أوجد المدى في الهواء للطاقات بين (٤.٤٥-٠.٧ MeV) وكانت النتائج الحاصلة هي الزيادة في طاقات العناصر ومما يزيد من مدى الجسيمات.

في عام (١٩٥٨) اوجد كل من (Garin and Faragg) [٤٩] المدى في البروتون بطاقة مقدارها (٥.٧ MeV)، كذلك أوجدا مدى ألفا في السليكون المعتمدة على طاقات النظائر المشعة لألفا لكل من (اليورانيوم U) بطاقة (٤.٥ MeV)، (الذهب Au) بطاقة (٥.٣ MeV)، (الزركون Zr) بطاقة (٦.٦ MeV)، وكانت قيمة المدى لعنصر اليورانيوم هي أقل من بقية العناصر يليه الذهب ثم الزركون وبالاعتماد على علاقة براك-كليمان لإجراء المقارنة بين القيم الناتجة أثبت أنه كلما زادت قيم الطاقات للنظائر المشعة ازداد المدى للجسيمات في المادة.

في عام (١٩٧١) قام (Mackintosh) [٥٠] بالاعتماد على قيم الطاقات المحدودة بين (٠.٣-١.٧ MeV) لأيونات الهيليوم المعجلة في عنصر السليكون، وأوجد قدرة الإيقاف بمديات الطاقة وأثبت أن قدرة الإيقاف تقل بزيادة الطاقة. كما درس مدى تأثير تلك الجسيمات على المادة.

في عام (١٩٧٢) قام (Euler) [٥١] بدراسة الضرر الإزاحي (Damage of Displacement) للنيوترونات على مادة (GaAs) المطعمة تطعيمياً ثقيلًا، وتأثيرها في المقاومة ومعامل هول.

في عام (١٩٧٦) اوجد كل من (Grahmanu and Kalbitzer) [٥٢] قدرات الإيقاف الإلكترونية والنوية للجسيمات ذات الطاقات الواطئة عندما تكون ( $Z \leq 10$ ) في السليكون، واستنتجا أن قيمة طاقة الجسيمة تزداد بينما تقل قدرات الإيقاف، كذلك درسا العلاقة بين قدرة الإيقاف الكلية (Total Stopping Power) وبين سرعة جسيمات بيتا وكانت العلاقة عكسية بينهما، حيث وجد انه كلما تزداد قيم طاقات النظائر تقل قدرة الإيقاف الكلية ومن ثم فهذا يعتمد على زيادة سرع الجسيمات بسبب الزيادة في الطاقة.

في عام (١٩٧٨) درس (Jaros) [٥٣] تأثير الشوائب العميقة (Deep Impurities) في أشباه الموصلات بحيث لاحظ أن كل العيوب تنتمي إلى عائلة الشوائب العميقة وتبدي خصائص مختلفة بشكل واضح عن المانحات والقابلات السطحية المألوفة.

في عام (١٩٧٨) قام كل من (Rosendable and Wmonkdiek) [٥٤] بدراسة فقدان الطاقة لجسيمات ألفا المنبعثة من النظائر المشعة (اليورانيوم، الراديوم، الامريشيوم) وأوجدوا قدرة الإيقاف لعنصر الجرمانيوم النقي بالاعتماد على طاقات العناصر المذكورة ( $Ra=4.6\text{MeV}$ ,  $U=1.8\text{MeV}$ ,  $Am=5.27\text{MeV}$ )، ويمثل عنصر الامريشيوم أقل العناصر من ناحية قدرة الإيقاف بمقدار ( $0.96116\text{ MeV/m}\mu$ ) فإنه يمثل أقل اختراق بأعلى طاقة.

في عام (١٩٨٠) قام (Holert) [٥٥] بإيجاد عدد الأزواج الأيونية لوحدة الحجم، وإيجاد المدى للسليكون في الهواء بمقدار ( $0.3272\text{mm}$ ) بطاقة مقدارها ( $5\text{MeV}$ ) بالاعتماد على قاعدة براك-كليمان فلاحظ أن المدى يزداد بزيادة الطاقة، وأوجد مدى جسيمة البروتون في السليكون وكانت تساوي ( $0.238\text{mm}$ ).

في عام (١٩٨٠) قام كل من (Oetzmann and Kalbitere) [٥٦] بإيجاد قيم قدرة الإيقاف لأيون الهيليوم ( $He^+$ ) باستعمال الأيونات الداخلة في تقنية الاستطارة الخلفية. في عام (١٩٨٠) قامت (Ahlen) [٥٧] بدراسة النظريات والتجارب الخاصة بفقدان الطاقة بالنسبة للجسيمات المتأينة (الفا والبروتون).

في عام (١٩٨١) درس (Kuhrt) [٥٨] قدرة الإيقاف في عنصر السليكون النقي بالنسبة للجسيمة (البروتون) للطاقات المحصورة بين ( $300-40\text{ keV}$ ) واستنتج أنه في حالة زيادة قيم الطاقات البروتونية قلت قدرة الإيقاف الخطية، وأوجد أيضا "معدل جهد التهيج لعنصري السليكون والجرمانيوم المقاسة بوحدات الكترون - فولت.

في عام (١٩٨٤) قام (Sontry) [٥٩] بحساب قدرات الإيقاف للعناصر لكل من (الجرمانيوم، الألمنيوم، السليكون، الذهب، النيكل) باستعمال طاقة النظائر المشعة للجسيمة ألفا، وتمت دراسة العلاقة بين قدرة الإيقاف وطاقة تلك النظائر، وأوضحت النتائج النقصان الواضح في قدرة الإيقاف مع زيادة طاقة النظائر المشعة، وأوجد طاقة الإزاحة (Displacement Energy) لجسيمات بيتا في عنصري السليكون والجرمانيوم بطريقة عملية.

في عام (١٩٨٥) اوجد (Zigler) [٦٠] مدى البروتون عند طاقات محددة بين ( $10\text{keV} < E < 2\text{GeV}$ ) وقد اعتمد على تجارب قدرة الإيقاف التي استنتجها في عمله، واستعمل النظائر ذات الأعداد الذرية ( $Z \leq 92$ )، ولاحظ الزيادة في مدى البروتون مع الزيادة في الطاقة.

في عام (١٩٩٣) قام (Narrumi) [ ٦١ ] بحساب فقدان الطاقة بحدود (١٢-٣٢keV) لكل من أيونات الهيليوم (He) والهيدروجين (H) والنتروجين (N) ووجدتها علاقة عكسية مع طاقة الأيونات، كذلك أوجد زاوية الاستطارة لأيونات الهيليوم في السطح الخارجي لبلورات السليكون.

في عام (١٩٩٥) قام (Dossantos) واخرون [ ٦٢ ] بإيجاد قدرة الإيقاف الإلكترونية ( Electron Stopping Power ) لأيونات الهيليوم في بلورة السليكون رباعية التكافؤ وكانت العلاقة خطية زيادة في الطاقة مع نقصان القدرة.

في عام (١٩٩٦) حضر البصام [ ٦٣ ] غشاء الجرمانيوم النقي والمطعم بالألمنيوم لتكوين نوع (p) وبالزرنينخ لتكوين نوع (n) بسمك ثابت وبالنسب الوزنية (%wt ٠.٥, ١, ٢, ٤) من خلال طريقة التبخير الحراري المشترك، ودرس تأثير التشعيع بجسيمات ألفا بجرع ( $1-3 \times 10^9$  Alph / cm<sup>2</sup>) وجسيمات بيتا بجرع ( $3-9 \times 10^9$  Beta / cm<sup>2</sup>) على منحنى (J-V)، ووجد أن تراكيز الحاملات تزداد بزيادة نسب التطعيم وتقل بالتشعيع، لكن التحركية تقل بزيادة التطعيم وتزداد بعد التشعيع.

في عام (١٩٩٦) قام (Niemann) [ ٦٤ ] بإيجاد قدرة الإيقاف لعنصري الهيليوم والهيدروجين في شبه الموصل (السليكون) ضمن المدى الطاقى MeV (٠.٠٢-١.٠) و فقد استنتج أن قدرة الإيقاف تقل بزيادة قيمة الطاقة ضمن المدى المحدود.

في عام (٢٠٠٠) قام (Oliver) [ ٦٥ ] بإيجاد المدى في الهواء بالنسبة لجسيمات ألفا وأن المدى كان ما يقارب ( $3 \pm 0.1$ cm) ومن خلال حساب المدى في الهواء ثم إيجاد المدى في الماء بمقدار ( $3.1 \pm 0.5 \times 10^{-3}$  cm).

في عام (٢٠٠٠) اوجد (Hubert) [ ٦٦ ] قيمة مدى جسيمات ألفا في الجرمانيوم المطعم بالبورون، ودرس علاقة المدى بطاقة النظير المشع لجسيمة ألفا، واستنتج أن الزيادة في المديات المطعمة ناتجة عن زيادة في النسب الوزنية التي تم التطعيم بها.

في عام (٢٠٠٠) اوجد (Stoll) [ ٦٧ ] المدى المؤثر لجسيمات بيتا في السليكون المطعم بالكاليوم بالاعتماد على نسبة التطعيم (%wt ٠.١) ووجد أنها تزداد مع زيادة النسبة الوزنية المستعملة.

في عام (٢٠٠١) أوجد (Goulding) [ ٦٨ ] المدى المؤثر (الفعال) لجسيمات بيتا في السليكون المطعم بالبورون واعتمد على النسب الوزنية (%wt ٠.٠١, ٠.٠١) وكذلك استند

في العملية إلى طاقات ألفا ووجد أن نسبة التطعيم الواطئة wt(0.001) هي التي تسبب اختراق أقل من نسبة التطعيم العالية wt(0.01)، وكذلك يزداد المدى مع زيادة طاقة الجسيمات.

في عام (2001) قام (Zigler) وآخرون [ 69 ] بحساب قدرة الإيقاف والمدى للنوية (البروتون)، بالاعتماد على الأعداد الذرية ( $Z \leq 92$ ) أي ضمن حدود وقياسات خاصة، وضمن الطاقات المحدودة بين ( $25keV \leq E \leq 10MeV$ ) لأختبار العناصر (الألمنيوم، الكربون، الحديد، اليورانيوم، الجرمانيوم) ووجد أن قدرة الإيقاف تتناسب عكسياً مع الطاقة، أما المدى يتناسب طردياً مع الطاقة تحت الظروف القياسية نفسها.

في عام (2003) قام (Nikezic) [ 70 ] بمقارنة بين فقدان الطاقة لجسيمات ألفا في الهواء ضمن تجارب (ICRU) (International Commission of Radiation Units) ، (SRIM-2000) وبين المدى وقدرة الإيقاف للجسيمات في المادة، وتمت المقارنة بين النموذجين باستعمال النظير المشع ( $^{241}\text{Am}$ ) بطاقة مقدارها ( $5.4857\text{MeV}$ ) والنظير المشع (Th) بطاقة ( $4.687\text{MeV}$ ).

في عام (2003) قام (Lang) [ 71 ] بإيجاد المدى وقدرة الإيقاف ضمن الطاقة ( $47.6\text{GeV}$ ) لأيونات اليورانيوم في (الماس)، ودرس حزم الطاقة في المادة ووجدها تقل من خلال انبعاث الإلكترونات الثانوية وتم حساب فجوة الهواء (Air Gap) بحوالي ( $45\text{cm}$ ) في الماس بالطاقة المذكورة نفسها وأن معدل المدى يزداد بزيادة قيم الطاقة لنظير اليورانيوم والبالغ ( $1.72 \pm 5\mu\text{m}$ ) الذي يقابل فقدان الطاقة البالغة ( $12.4\text{GeV/cm}^2$ )، واستنتج أن قدرة الإيقاف تقل تدريجياً بزيادة الطاقة والمدى يزداد بزيادة الطاقة المختارة.

في عام (2004) اوجد (Biersack) [ 72 ] المديات الفعالة للجرمانيوم المطعم باليزموث والألمنيوم، واختراق جسيمات بيتا خلالها على اعتبار أن النسب الوزنية المعتمدة هي wt(0.02) ، wt(0.01) ووجد أنه كلما كان التركيز قليل كلما كان الاختراق أقل، وهذا بدوره يعتمد على طاقة العناصر المذكورة، وتفسير نسب التطعيم وأيهما أفضل من العناصر من حيث اختراقها للمادة فاستنتج أن الألمنيوم (Al) هو الأفضل من اليزموث (Bi) عند تطعيمهما للمادة شبه الموصلة.

## ١٦-١ : الهدف من البحث

### *The Aim of Project*

من خلال الاستعراض السابق يهدف البحث إلى إيجاد قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات الفا وبيتا، وطاقة الإزاحة لجسيمات بيتا من خلال تطبيق البرنامج الفرعي (ZRATIO)، بالاعتماد على السرعة الكلاسيكية للجسيمات النووية، كذلك حساب المدى في الهواء بالنسبة لجسيمات ألفا لنظائر مشعة معينة، ومن خلال ذلك أمكن الحصول على المدى المؤثر لجسيمات ألفا وبيتا في السليكون والجرمانيوم المطعم بالنسب الوزنية wt % ( ٠.٥, ٠.٠٥, ٠.٠٠٥ ) وبعناصر المجموعة الثالثة والخامسة من الجدول الدوري، ولمعرفة مدى تأثيرها في وصلات (p-n) والترانسستورات والدوائر المتكاملة ونبائط أشباه الموصلات والأغشية الرقيقة والكواشف واختيار النسب الوزنية المناسبة لتقليل عيوب الإشعاع والتدريع.

## الفصل الثاني

### الجانب النظري والإجراءات الحسابية

## *Theoretical Part & Computational Procedures*

### *Introduction*

### ١-٢: المقدمة

يتضمن الفصل الثاني، اشتقاق معادلة بيتا - بلوخ ( Bethe- Block ) العامة لقدرة الإيقاف الخطية، وتأثير المعلمات المطبقة في أشباه الموصلات، ومن ثم دراسة فقدان الطاقة في المادة من خلال جهد التأين أو التهيج لذرات المادة الممتصة، وتطبيقها في البرنامج الفرعي (ZRATIO) لكي يمكننا بيان آلية فقدان الطاقة خلال الوسط الممتص. ويشتمل الفصل أيضاً " إيجاد طاقة إزاحة جسيمات بيتا المشحونة بعلاقة شبه تجريبية، وإدخال هذه العلاقة في البرنامج، كذلك إيجاد مدى الجسيمات النووية المشحونة في الهواء وفي أشباه الموصلات (السليكون والجرمانيوم) واختراقها تلك المواد بأزاحات معينة وبسمك محدد أمكن تعيينه من خلال إيجاد مدى الجسيمة المشحونة، من خلال ربط العلاقات بين المدى و الطاقة بمنحني خاص يدعى منحني براك، وتمكنا من إيجاد المدى المؤثر أو الفعال ( Effective Range ) للسليكون والجرمانيوم وبنسب وزنية وهي wt (% ٠.٥ ، % ٠.٠٥ ، % ٠.٠٠٥) وتطعيمها بالعناصر الثلاثية والخماسية من الجدول الدوري، وهي ( الألمنيوم، البورون، الكالسيوم، الفسفور، الانتيوم، الزرنخ )، وتأثيرات تلك التطعيمات العالية والواطئة في أشباه الموصلات ودراسة تفاعلات تأين الإشعاع مع كواشف أشباه الموصلات، من خلال التطعيم بنوع ( n أو p )، وأخيراً يتضمن هذا الفصل أنواع ضرر الإشعاع واهم العيوب الإشعاعية في النبايط والعيوب الالكترونية في المواد شبه الموصلة.

### ٢-٢: معادلة بيتا- بلوخ لقدرة الإيقاف الخطية

### *Bethe – Bloch Equation for the Linear Stopping*

### *Power*

اعتمدت الدراسات لمعرفة قدرة الإيقاف على قوانين الميكانيك الكمي النسبي ومن خلال البحوث التي أجراها كل من Block و Bethe، وقد لاحظنا أن التجارب التي أجريت لإيجاد معادلة تخص قدرة الإيقاف بالنسبة للجسيمات الثقيلة والخفيفة، وإن فقدان الطاقة بالنسبة للتفاعلات النووية التي تحدث بين الجسيمات والنواة يمكن تجاهله. وبين Bethe انه في السرعة العالية تكون نسبة فقدان الطاقة بواسطة الجسيمات من خلال اصطدامها بالإلكترونات الهدف أكبر من نواة الهدف [٧٣].

ومن الاعتبارات الأساسية لـ (Bohr) التي عبرت عن فقدان الطاقة للجسيمات المارة خلال المادة، إذ قسم الفقدان إلى قسمين أساسيين: الإيقاف النووي والإيقاف الإلكتروني، إذ إن النوع الثاني سوف يكون أكبر من النوع الأول من حيث طاقة الجسيمات الخفيفة المنبعثة من المصادر المشعة [٣٣]. قدم العالم بور البناء الذري في نظرية الإيقاف بواسطة معرفة مسار الإلكترونات للترددات المدارية التي تعطى من الطيف البصري وحساب الطاقة المتحولة من المتذبذب التوافقي. إن التقريب النظري لبور قدم نظرية بدائية لفقدان الطاقة للجسيمات الخفيفة ذات الطاقة الأعلى من (1 MeV/amu). وقد قام العالم (Gaunt) في عام (١٩٢٧) بتطبيق قوانين الميكانيك الكمي، إذ سلط الإلكترونات الذرية على الجسيمات المشحونة، وكانت تطبيقاته قد حصلت على نسبة من الخطأ في التقريب الأول، عند مقارنتها مع تقريبات بور، وهذا أدى إلى حصول Bethe على حل مناسب لسرع الإيقاف العالية باستعمال تقريب بورن الأول (Born) الذي ادخل النظام الفيزيائي في اعتبارات مكممة [٧٣]. واعد تقريب بور الكلاسيكي للجسيمات الثقيلة ذات شحنة مقدارها  $Z_1e$ ، تتحرك بسرعة ما، وتجتاز بالقرب من الإلكترونات التي تحمل شحنة مقدارها  $e$  وكتلة  $m$ ، وأن طاقة الجسيمات تساوي  $E = vM_1c^2$  وحسب المعادلة الآتية: [٧٣].

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Ze^4}{mv^2} Z_1^2 \ln\left(\frac{\gamma^2 mv^3}{Z_1 e^2}\right) \dots\dots\dots(١-٢)$$

حيث تمثل:  $m$  كتلة جسيمة ألفا أو بيتا،  $Z_1$  العدد الذري للمادة شبه الموصلة،  $e$  شحنة

$$\text{الإلكترون} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb} , \gamma = 1/(1-\beta^2)^{\frac{1}{2}} \text{ [٧٣].}$$

وقدر بلوخ الاختلاف بين العلاقة الكلاسيكية (لبور) والميكانيك الكمي لبيتا من خلال علاقة الجسيمات مع السرعة التي تكون أكبر بكثير من سرع الإلكترونات الساقطة [٧٤].

وعليه تمثل علاقة الإيقاف النسبية لبيتا- بلوخ بالمعادلة الآتية:

$$\delta = \frac{4\pi e^4 Z_2}{m_e v^2} Z_1^2 \left( \ln \frac{2mv^2}{\langle I \rangle} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 + \Psi(Z_1) \right) \dots\dots\dots(2-2)$$

حيث تمثل:  $\delta$  قدرة الإيقاف النسبية للجسيمات،  $\langle I \rangle$  معدل جهد التهيج للإلكترونات،  $Z_2$  العدد الذري للنظير المشع،  $\Psi(Z_1)$  دالة الإيقاف النسبية بدلالة العدد الذري، ويمكن تعريفه بالمعادلة الآتية:

$$\ln \langle I \rangle = \sum f \ln E_n \dots\dots\dots(3-2)$$

إذ  $(\sum f_n = 1)$ ،  $E_n$  طاقة تهيج الإلكترونات.

$$S = \frac{4\pi r_0^2 m_e c^2 Z_2}{\beta} Z_1^2 \left( f(\beta) - \ln \langle I \rangle - \beta^2 - \frac{c}{Z_2} - \frac{\delta}{2} \right) \dots\dots\dots(4-2)$$

إذ  $c$  سرعة الضوء في الفراغ =  $3 \times 10^8$  m/sec

حيث أن القيمة  $k = 4\pi r_0^2 m_e c^2$  وبمقدار ثابت هو (0.0005099) وبذلك يمكن أن نصف العلاقة النهائية لقدرة الإيقاف العامة التي تعد شائعة في كثير من الحلول النظرية بالشكل الآتي:

$$\delta = \frac{kZ_2}{\beta^2} Z_1^2 (L_0(\beta) + Z_1 L_1(\beta) + Z_2 L_2(\beta)) \dots\dots\dots(5-2)$$

ولمعرفة عدد التوقف الابتدائي (The Primary Stopping Number) وعلاقته بالطاقة العالية للجسيمات فقد أمكن التعبير عن ذلك نظرياً من خلال المعادلة الآتية [٧٣]:

$$L_0 = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \Delta E_{\max}}{1 - \beta^2} \right) - \beta^2 - \frac{c}{Z_2} - \ln \langle I \rangle - \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots(6-2)$$

٢)

إذ إن  $\Delta E_{\max}$  هي معدل التغير في الطاقة العظمى للجسيمات وتعطى بالمعادلة الآتية:

$$\Delta E_{\max} = \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{1 - \beta^2} \right) \left( 1 + \frac{2m_e}{M_1(1 - \beta^2)^{1/2}} + \left( \frac{m_e}{M_1} \right)^2 \right)^{-1} \dots\dots\dots(7-2)$$

حيث أن القيمة  $(\Delta E_{\max})$  تساوي المقدار  $\frac{2m_e c^2 \beta^2}{1-\beta^2}$  ، كتلة الإلكترون وتساوي  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

أما في حالة (الجسيمات غير النسبية) (Non-relativistic Energies) فيكون شكل الطاقة كما يأتي:

$$\Delta E_{\max} \approx \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{1-\beta^2} \right) \approx 2m_e v^2 \quad \dots\dots\dots(٨-٢)$$

$$S = \frac{kZ_2}{\beta^2} Z_1^2 L(\beta) \quad \dots\dots\dots(٩-٢)$$

والمعادلة (٩-٢) تمثل العلاقة العامة لعدد التوقف النسبي وعلاقته مع قدرة الإيقاف الكلية داخل المادة .

٣-٢ : قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات المشحونة في أشباه الموصلات

### ***Linear Stopping Power of Charged Particles in the Semiconductors***

أن زيادة فقدان الطاقة مع زيادة في قيمتها العالية تسبب تقلص المجال الكولومي واتساعه شاقولياً، إن هذا التغير في أبعاد المجال يسبب وصول تأثير الشحنة إلى عدد أكبر من الإلكترونات.

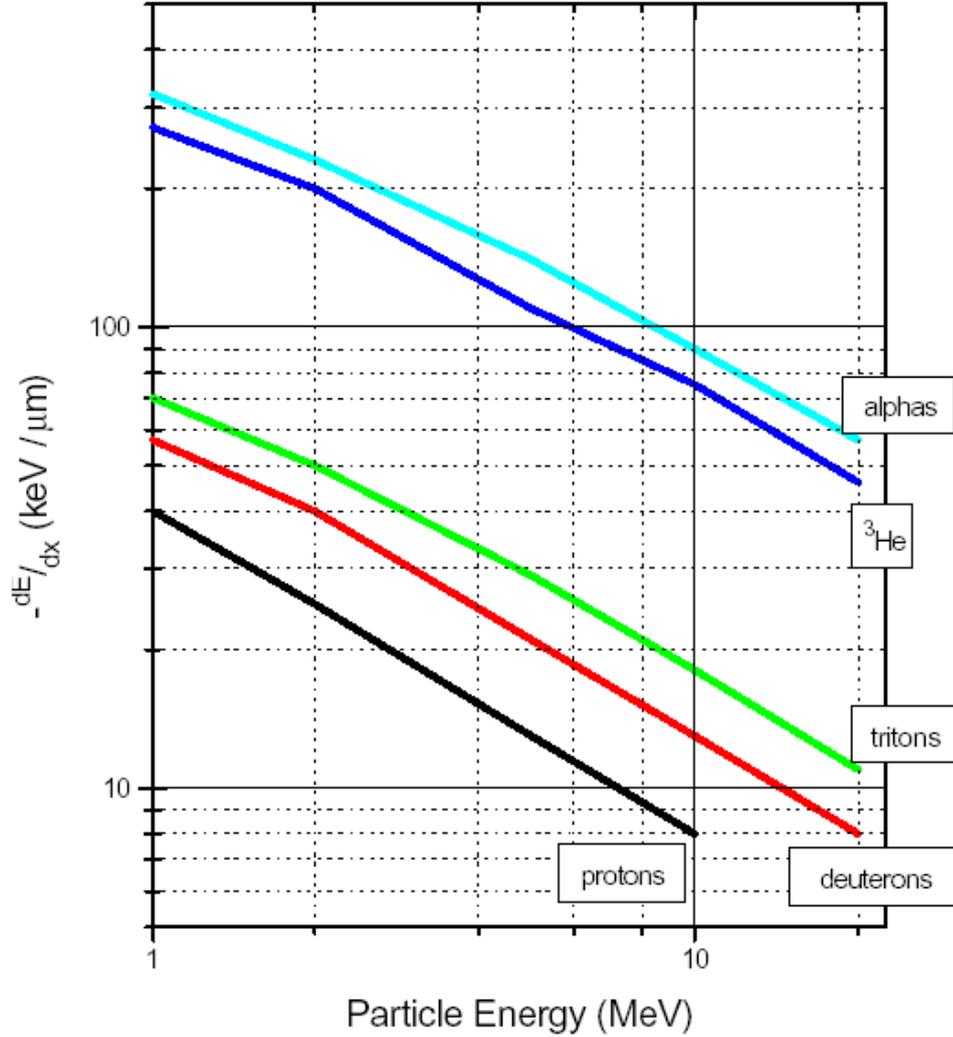
لقد تم تعيين فقدان الطاقة والعدد الذري ووجد أنها علاقة غير خطية تبدأ بعدها بالاستقامة عند قيم  $(Z_2 \text{ or } Z_1)$  العالية لسببين، الأول يعود إلى بدء تأثير قيمة جهد التأين  $I$  على فقدان الطاقة، والسبب الثاني هو تغير نسبة العدد الذري إلى العدد الكتلي عند قيم  $Z$  العالية [٧٥]، والشكل (١-٢) يوضح تغير معدل فقدان الطاقة مع طاقة الجسيمة ولجسيمات مختلفة في السليكون [٢٧].

أما معدل فقدان الطاقة للجسيمات الثقيلة أو قدرة الإيقاف الخطية للوسط (شبه الموصل) فتعطى بالعلاقة الآتية: [٢٧]

$$\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2 e^4}{4\pi \epsilon_0 v^2} NZ \left( \ln \left( \frac{2m_0 v^2}{I} \right) \ln \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad \dots\dots\dots(١٠-٢)$$

حيث  $N$  عدد النويات لوحدة الحجم في المادة بوحدة  $(g/cm^3)$ ،  $v^2$  هي سرعة الجسيمة المشحونة بوحدة  $(m/s)$ ، وبإيجاد قيمة جهد التأين أو التهيج لذرات المادة بالاعتماد على معادلات شبه تجريبية بدلالة العدد الذري للمادة وكما يأتي: [٥٩]

$$I/Z_2 \text{ (eV)} = Z_2 (9.76 + 58.8Z^{-1.19}) \dots Z_2 > 12 \dots (١١-٢)$$



الشكل (١-٢) يوضح العلاقة بين قدرة الإيقاف الخطية والطاقة لجسيمات مختلفة في السليكون

[٢٧]

أما قيمة  $N$  فيمكن إيجادها من العلاقة الآتية: [٧٦]

$$N = N_A \frac{\rho}{A} \dots\dots\dots(١٢-٢)$$

إذ أن  $N_A$  عدد أفوكادرو تساوي  $6.023 \times 10^{23}$  atom/mol ،  $(A, \rho)$  هما الكثافة العدد الكتلي على التوالي للمادة شبه الموصلة.

وأن علاقة بيتا لفقدان الطاقة قد اعتمدت على التصادمات الحاصلة بين الجسيمات الثقيلة أو الخفيفة مع الإلكترونات الذرية والتصادمات النووية تكون ذات أهمية قصوى في عمليات فقدان الطاقة وبشكل خاص في حالة الجسيمات الثقيلة. أما السرعة بالنسبة للجسيمات النووية (ألفا وبيتا) والمحسوبة بالطريقة الكلاسيكية وحسب العلاقة  $E = \frac{1}{2}mv^2$  والتي تطبق عليها الحالة ( $v \ll c$ ) إذ لا بد من معرفة طاقات النظائر المشعة للجسيمات (ألفا) و(بيتا) بوحدات (MeV) وكتلة الجسيمة ألفا والمحسوبة بوحدات الكيلوغرام وهي تساوي  $(6.6424 \times 10^{-27})$  kg ، أما معادلة فقدان الطاقة التصادمية الناتجة من تصادم جسيمات بيتا السالبة مع إلكترونات المادة فتوضحها المعادلة الآتية:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi e^4 NZ}{m_e v^2} \left( \ln \left( \frac{m_e v^2 E}{2I^2 (1 - \beta^2)} \right) - (2\sqrt{1 - \beta^2} - 1 + \beta^2) \ln(2) \right) + (1 - \beta^2) + \frac{(1 - \sqrt{1 - \beta^2})^2}{8} \dots\dots\dots(١٣-٢)$$

( $Z=1$  for  $\beta$  ,  $Z=2$  for  $\alpha$ )

وعند زيادة طاقة الجسيمة يقل فقدان الطاقة ضمن مدى الطاقة الواطئة، ولكن عندما تزداد الطاقة إلى المقدار النسبي الذي يسبب تقلص المجال الكولومي فإن الفقدان يبدأ بالزيادة مناظراً بذلك حالة الجسيمات الثقيلة [٦٢]. ويقل فقدان الطاقة عندما يتم التفاعل مع إلكترونات أقل ارتباطاً في الذرة. أما بالنسبة لمعدل طاقة التهيج (Average Excitation Energy) فإن تأثيره يكون مشابهاً لحالة الجسيمات الثقيلة. وتمت معرفة فقدان الطاقة الناتجة من التصادمات المتكررة للجسيمة النووية خلال وحدة التصادم. وهذا الفقدان في الطاقة يخضع للعمليات الإحصائية أو (التوزيع الإحصائي) الذي يتمثل بتوزيع كاوس لفقدان الطاقة. [٧٥]

## ٤-٢ : فقدان طاقة الإشعاع في المادة

## ***Energy Loss of Radiation in Material***

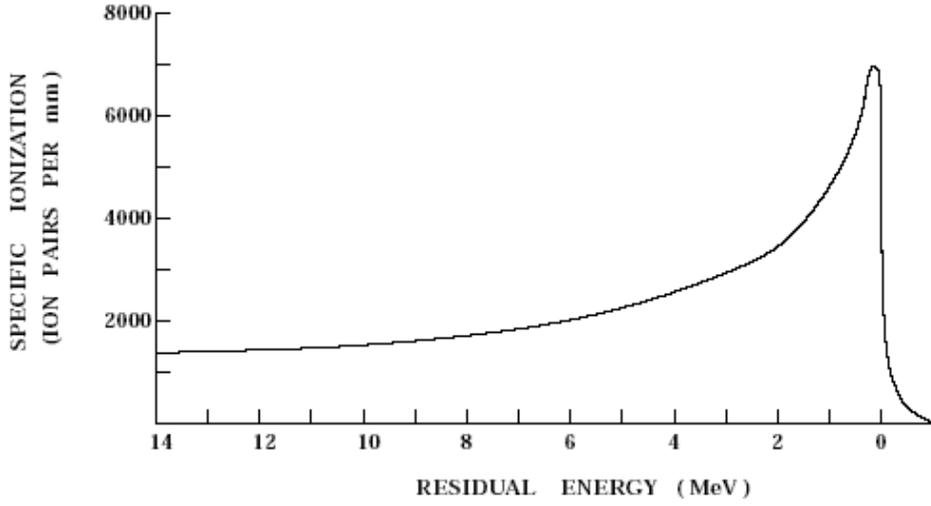
تمتاز جسيمات ألفا بتفاعلات مختلفة في أثناء مرورها في المادة، منها استطارتها نتيجة تماسها مع النوى الذرية والتي تمثل (استطارة رذرفورد المرنة) عندها لا تعاني جسيمات ألفا فقداناً في الطاقة أبداً، وهي نادرة الحدوث في ضوء الاصطدامات غير المرنة مع الذرات التي تسبب التأين للذرات، بعبارة أخرى تهب جسيمات ألفا جزءاً صغيراً من طاقتها إلى إلكترون المدار الذري ويكون معدل فقدان الطاقة لوحدة الاصطدام ( $33.7\text{eV}$ ) وتردد مثل هذه التصادمات نتيجة لفقدان الطاقة لوحدة الطول هو دالة لكثافة الإلكترون في المادة الماصة ولطاقة جسيمات ألفا، وسرعة التباطؤ لجسيمات ألفا في أثناء مسارها، وهذه التفاعلات هي الأكثر احتمالاً [٧٧]، وتحدث مع إلكترونات المدار وتعطي زيادة في فقدان الطاقة ونقصان في طاقة الجسيمة. ويلاحظ أن فقدان طاقة جسيمات ألفا تقل باتجاه نهاية مسارها، أما سرعة تلك الجسيمات المشحونة المارة خلال المادة، فإنها تؤدي إلى فقدان للطاقة نتيجة التصادمات (المرنة وغير المرنة) مع الإلكترونات الذرية، فالاختلاف المهم في آلية فقدان الطاقة يظهر إذا كان الوسط في الطور الغازي أو في الطور المكثف فقط [٧٦].

٢-٥: علاقة الطاقة مع المدى والتأين النوعي (قدرة الإيقاف)

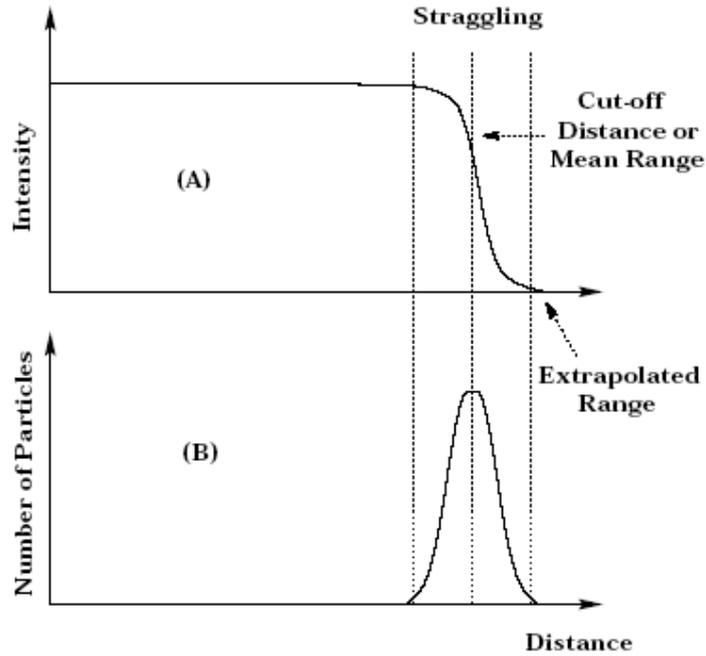
### ***Range-Energy Relation and Specific Ionization (Stopping Power)***

إن العلاقة ما بين طاقة الجسيمات وال المدى يمكن أن يكون أكثر وضوحاً من خلال التعبير عنه بدلالة معادلة قدرة الإيقاف  $(dE/dX)$ ، وهذا المعدل يمثل فقدان الطاقة للجسيمة المارة خلال المادة، ويمكن التعبير عنه أيضاً بما يسمى التأين النوعي (Specific Ionization) [٧٧]. وقدرة الإيقاف تكون دالة لطاقة الجسيمات النووية ولشحنة تلك الجسيمات ومن خاصيتها المهمة هو منحنى براك لجسيمات ألفا الموضح بالشكل (٢-٢)، وهذا المنحنى يعبر عن فقدان الواضح للجسيمات (الطاقة المتبقية) الذي يزداد مع زيادة المسافة حتى يصل إلى أقصى قيمة من الفقدان، ومن ثم يهبط بصورة حادة مؤشراً بذلك إلى مدى الجسيمة داخل المادة [٧٨]. وأن الجزء الأول من هذا المنحنى يتبع معادلة بيتا لقدرة الإيقاف الخطية، إذ تكون العلاقة طردية بين الفقدان والطاقة، ثم تأخذ الطاقة بالتناقص مع المسافة، وبذلك فإن فقدان الطاقة سيتزايد مع المسافة المقطوعة. عندما يصل الفقدان إلى أقصى قيمة له، فلا يبقى للجسيمة ما تفقده فتنتهي داخل المادة. وإن عدم هبوط منحنى براك بشكل مستقيم نحو الصفر واتخاذ الشكل نصف الكاوسي يعود إلى تغير معدل شحنة الجسيمة وهذا ما يسمى (بتطوح الطاقة) (Straggling)

[٧٩]



وبما ان حن جسيمات الفا تحون منبعه من نوح مصدري معرد، وبصافه معييه فيمحن من خلال ذلك نفوذها بسهولة وبعمرق في الماده الممنصه. وعلى أية حال فإن التنوع الطفيف في التصادمات الاعتيادية للماده يسبب (Straggling) حول ما يسمى بمعدل المدى النافذ للجسيمات، وأن شدة الإشعاع، العمق، وقابلية النفاذية للماده يمكن أن نوضحها في الشكل (٢-٣).



ت ألفا النافذة. [٧٩]

(A) عا

إن النقصان في معدل فقدان الطاقة مع زيادة الطاقة للجسيمة بالنسبة للجسيمات المشحونة والإلكترونات الذرية ناتج عن زيادتها للسرعة ( $v$ )، ففي الوقت الذي تنتشر فيه الجسيمات خلال المادة سوف تخترقها بمسافة محددة تتناسب مع معكوس السرعة أي ( $1/v$ )، وكما موضح في المعادلة الآتية: [٢]

$$I = \int F dt = e \int E \frac{dt}{dx} dx = e \int E \frac{dx}{v} \dots\dots\dots(١٤-٢)$$

حيث أن الطاقة المتحولة للإلكترونات في الذرة ستكون مساوية لفقدان الطاقة بواسطة الجسيمة وستتناسب مع مربع الزخم، وبذلك فإن معدل فقدان الطاقة يجب أن يتناسب عكسياً مع مربع السرعة ( $v$ ) أو يتناسب بصورة عكسية مع الطاقة ( $E$ ) للجسيمات المشحونة. [٨٠] وقد تم حساب قدرة الإيقاف النووية والإلكترونية بوحدات ( $\text{MeV/cm}^2$ ) من قبل (L.C. Northcliffe عام ٢٠٠٣) اعتماداً على طاقات النظائر المشعة لألفا في شبه الموصل (الجرمانيوم) وقد وجدها بأنها تعتمد على مقدار طاقة تلك الجسيمات فالزيادة الواضحة في الطاقة يقابلها نقصان في قدرة الإيقاف. [٨٠]

## ٦-٢ : طاقة الإزاحة لجسيمات بيتا

### *Beta Displacement Energy*

تتبدد الطاقة الحركية الابتدائية للذرة المزاحة، بالتصادم مع الذرات المجاورة، فإذا كانت طاقة الذرة المزاحة أعلى من طاقة الإزاحة ( $E_d$ )، فستنتج إزاحات ثانوية، تؤدي إلى تكوين أزواج إضافية لـ (فجوة-ذرة طارئة)، أي توليد عيوب مضاعفة، إن هذه الظاهرة تحدث غالباً عند وجود شوائب من ذرات خفيفة في المادة الأصلية كما هو الحال في الجرمانيوم والسليكون المطعم، وأن المقطع العرضي للإزاحة الناتجة من تصادم ذرة مع ذرة، يعتمد على كتلة الذرتين المتصادمتين، وعلى نصف قطريهما، وعدد كبير من التجارب أثبتت أن المقطع العرضي لتكوين العيوب الثانوية لا يتناسب مع تركيز الشائبة [٤٢].

ففي عملية التصادم لا يوجد زمن لتعدل الذرات القريبة من التصادم، مواقعها عند طاقة الإزاحة ( $E_d$ ) التي قيمتها في أشباه الموصلات بين ( $١٥-٣٠\text{eV}$ ) وتظهر القيمة متباينة مع الطاقة ويحتمل مع نوع الإشعاع، ولقد وجد أنها تختلف مع اتجاه الإشعاع بالنسبة لمحاور البلورة. كما أن الطاقة اللازمة لكسر أو اصر الشبيكة أكثر بعدة مرات من الطاقة التي تتطلب لإزاحة الذرات من الشبيكة بعد أن تنطلق مرة وتتحرك في مواقع بينية، وقد يستخرج من

المعادلة الآتية قيم تعتمد على أقل طاقة للإلكترونات الساقطة ( $E_{min}$ ) وكتلة الذرة تحت الاصطدام (M) [٣].

$$E_d = \frac{2E_{min}m_0}{M} \left( \frac{E_{min}}{m_0c^2} + 2 \right) \dots\dots\dots(١٥-٢)$$

حيث تمثل:  $E_d$  طاقة إزاحة جسيمات بيتا،  $m$  كتلة الإلكترون السكونية،  $M$  كتلة ذرة التصادم للسليكون والجرمانيوم،  $E_{min}$  طاقة نقطة النهاية لجسيمات بيتا، بذلك يمكن إيجاد الطاقة القصوى الممنوحة للإلكترونات، ويكون الاختلاف بين السليكون والجرمانيوم بسبب اختلاف الكتل الذرية موضعاً القيمتين الآتيتين:-

$$M_{Si} = 5 \times 10 m_0, \quad M_{Ge} = 1.3 \times 10^5 m_0$$

ويمكن للذرة المرتدة أن تمتلك طاقة كامنة لإزاحة الذرات الأخرى، وتسبب الإلكترونات السالبة الشحنة ضرراً إشعاعياً مهماً، كذلك تسبب الشحنات الطاقية الأثقل والأكثر طاقة ضرراً أكثر من الجسيمات الأخف والأقل طاقة. [٩]

## ٧-٢: سمك المادة الممتصة (سمك الامتصاص) وتحديد مدى

### جسيمة ألفا

## *Absorptive Material Thickness and Determination of Alpha Particle Range*

من الملاحظ أن نفاذية جسيمات ألفا المشحونة تكون على الدوام متمثلة بعمق أكثر بواسطة كل تصادم يحصل بين الجسيمات وذرات المادة، وعلى الرغم من بطء سرعة جسيمات ألفا، فإنها تبقى بالقرب من كل إلكترون خلال المادة، علاوة على ذلك نلاحظ أن وقت التفاعل يزداد في حالة إزاحة الإلكترونات داخل المادة على مواقعها نتيجة التفاعلات الحاصلة أثر مرور جسيمات ألفا خلالها [٨١، ٨٢]. وتمتلك جسيمات ألفا مدى مقاساً عملياً في الهواء بمقدار (٢-٨ cm) وهو يعتمد على السرعة النهائية للجسيمة المصطدمة بالمادة، وكما موضح في الشكل (٤-٢)، ويمكن حساب مدى الجسيمة من خلال العلاقة شبة التجريبية الآتية [٨٢]:

$$R = \frac{0.00056A^{1/3}}{\rho} R_{\text{air}} \dots\dots\dots(16-2)$$

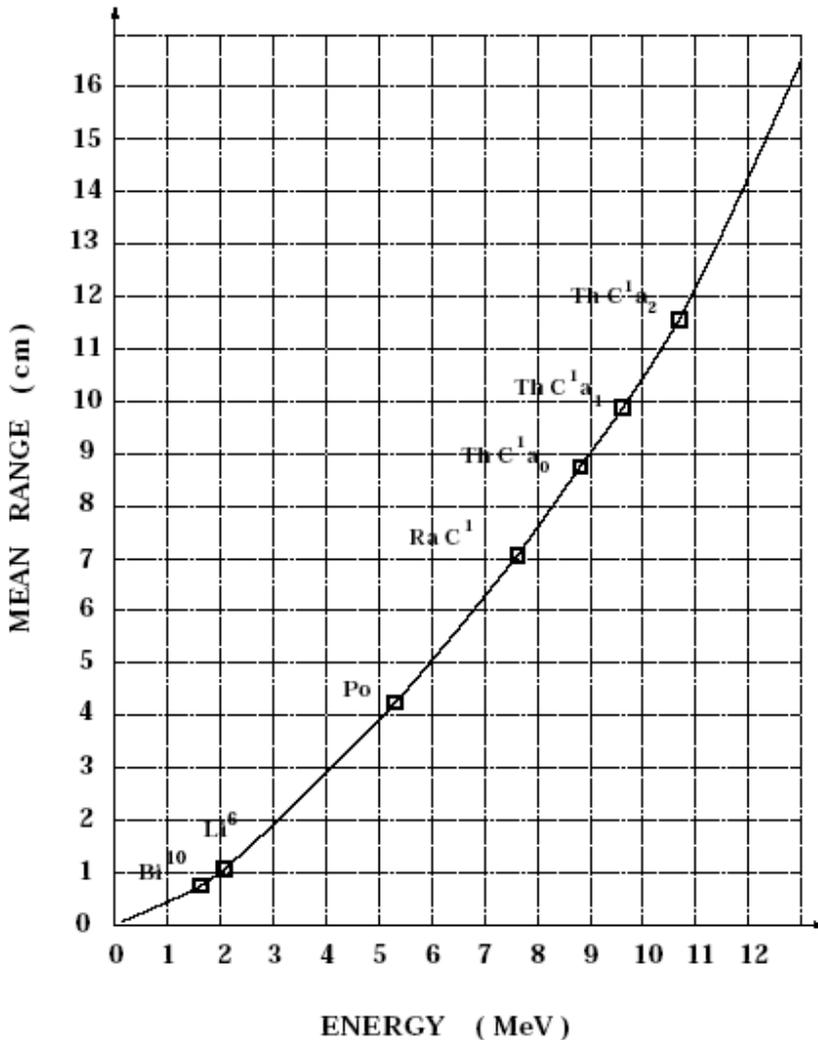
حيث تمثل: R المدى للجسيمة المشحونة بوحدات (g/cm<sup>2</sup>).

واعتماداً على قاعدة براك - كليمان فإن مدى جسيمة ألفا في الهواء لشبه الموصل سيزداد مع زيادة الطاقات وحسب العلاقة الآتية: [83]

$$R_{\text{air}} = 1.24 E - 2.62 \quad 4 \leq E \leq 8 \text{ MeV} \quad \dots\dots\dots(17-2)$$

إذ R<sub>air</sub> مدى ألفا في الهواء بوحدات (cm).

ولمعرفة العلاقة بين المدى (Range) في المادة (السليكون والجرمانيوم) وطاقة الجسيمات (Particle Energy) وتمثيلها بعلاقات واضحة، عليه يمكن إيجاد قدرة الإيقاف الخطية-النسبية لجسيمات ألفا بالنسبة للكثافة معتمدين على كثافة الهواء (gm/cm<sup>3</sup>). [80]

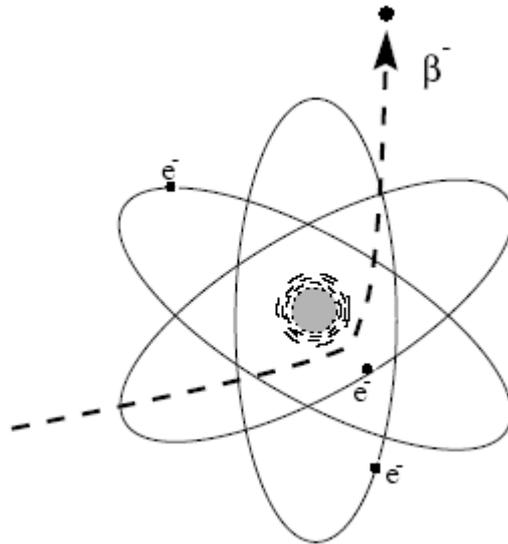


الشكل (٤-٢) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا ومعدل المدى لنظائر مشعة مختلفة [٨٠]

٨-٢: سمك المادة الممتصة وتحديد مدى جسيمة بيتا

### *Absorptive Material Thickness and Determination of Beta Particle Range*

تتفاعل جسيمات بيتا مع كل من (النواة والإلكترونات) للمادة النافذة خلالها وتجتازها بمسافة معينة، ومن جانب آخر فإن جسيمة بيتا تتصادم مع النواة عندما تنحرف بقوة من خلال المجال الكولومي، كما في الشكل (٥-٢). [٨٣] ففي حالة التصادمات المرنة (Elastic)، فإن الامتصاص الحاصل لجسيمات بيتا المشحونة من قبل المادة تكون العمليات عشوائية (Random).



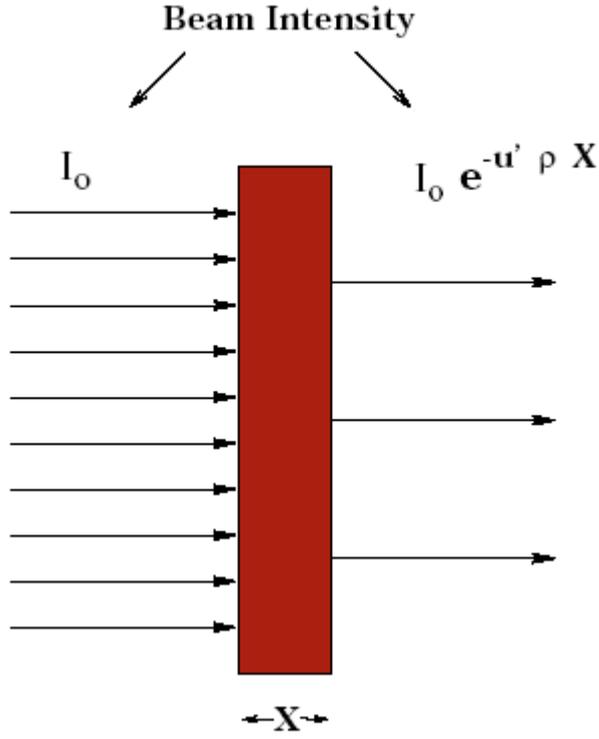
الشكل (٥-٢) يوضح الاستطارة المرنة لجسيمة بيتا بواسطة التفاعل الكولومي.

[٨٣]

حيث أن شدة الحزمة الإلكترونية تكون بشكل انحلال أسي مع المسافة المقطوعة طبقاً للعلاقة الآتية: [٨٣]

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots(١٨-٢)$$

حيث تمثل:  $x$  السمك الممتص،  $\mu$  : معامل الامتصاص،  $I_0$  شدة الحزمة الساقطة،  $I$  شدة الحزمة النافذة، وكما في الشكل (٦-٢)، حيث غالباً ما تكون المادة متمثلة من خلال (سمك النصف) (half-thickness) وهذا السمك يحتاج لتقليل شدة الحزمة من خلال النصف الأول. والنتيجة النهائية للشدة المقاسة مثلاً من خلال عداد كايكر (Geiger Counter) الذي يعتمد على موقع المادة الممتصة بين مصدر جسيمة بيتا والكاشف.



الشكل (٦-٢) يبين الامتصاص الخطي لأشعة بيتا ونفوذ الأشعة داخل المادة [٨٤]

ويكون ذلك بسبب أن بعض جسيمات بيتا لا تنبعث بشكل نهائي باتجاه الكاشف، لكنها تستطاع لاجتيازها من خلال المادة الممتصة [٨٤]. وإن منحنيات الامتصاص تتمثل بعلاقة واضحة بين عدد جسيمات بيتا التي تتناسب أسياً مع سمك المادة الممتصة وتكون لهذا السبب العلاقة شبه لوغاريتمية. وأن التقريب الأسي يقل مع كل من أعداد الجسيمات وبين التأين النوعي لجسيمات بيتا.

وبشكل عام الغرض من قياسات الامتصاص يتحدد من خلال الطاقات العالية المحددة بطيف أشعة بيتا، وللحصول على قياس عالٍ للطاقة لابد من معرفة مدى طيف أشعة بيتا المتمثل بمنحنى الامتصاص، والشكل الدقيق لمنحنى الامتصاص كذلك يعتمد على شكل طيف أشعة بيتا، الذي يسبب تأثيرات الاستطارة، الترتيبات الهندسية للنماذج، الامتصاص، والكواشف [٨٥]. كما في الشكل (٢-٧) وعليه فييجاد السمك الحقيقي للمادة بالنسبة لجسيمات بيتا توضح بالعلاقة الآتية: [٨٢]

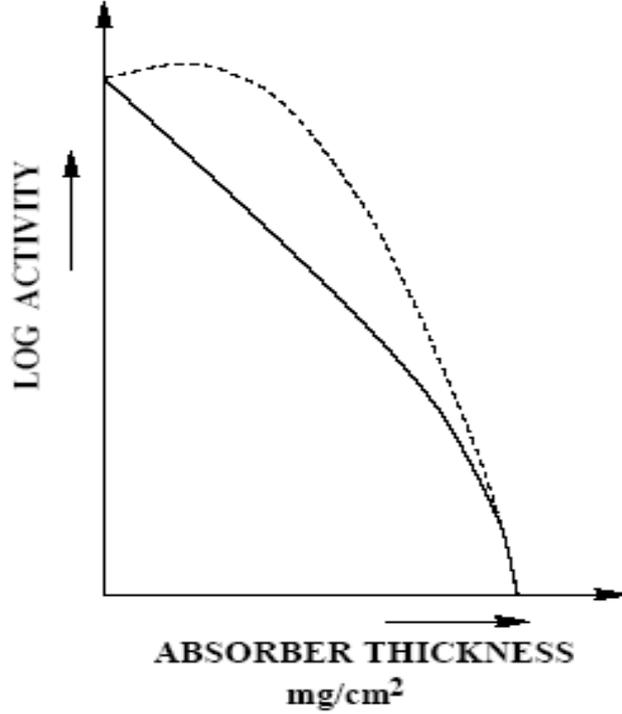
$$T = \frac{R_{\max}}{\rho} \dots\dots\dots(١٩-٢)$$

حيث تمثل: T السمك الضروري للمادة الممتصة بوحدة (cm)،  $R_{\max}$  أعظم مدى لجسيمة بيتا بوحدة  $(\text{gm/cm}^2)$ ،  $\rho$  كثافة المادة  $(\text{gm/cm}^3)$ .

لقد تم تحديد العلاقة بين المدى والطاقة للجسيمات الساقطة الثقيلة والخفيفة ولإيجاد أعظم مدى لجسيمة بيتا من خلال العلاقات شبه التجريبية التي وضعها كل من (Katz and Penfold) واستعملت العلاقة الآتية: [٨٢]

$$R_{\max}(\text{g/cm}^2) = \begin{cases} 0.412E_{\beta}^{1.65-0.0954\ln(E_{\beta})} & 0.01 \leq E_{\beta} \leq 2.5\text{MeV} \\ 0.530E_{\beta}^{0.106} & E_{\beta} > 2.5\text{MeV} \end{cases} \dots (٢٠-٢)$$

حيث  $E_{\beta}$  تمثل طاقة جسيمة بيتا (أعظم طاقة) تصلها الجسيمة بوحدة (MeV)، إذ تم استعمال الحالة الأولى لإيجاد أعظم مدى لجسيمة بيتا على أساس اختيار طاقات النظائر المشعة للجسيمة، والعامل الهام هو أن عدد الإلكترونات في المادة تنحرف نتيجة عمليات الاستطارة الأحادية والمزدوجة (المركبة). [٨٢]



الشكل (٧-٢) يوضح الانحراف الحاصل في السمك الخطي للمادة [٨٢]

## ٩-٢: تأثير التطعيم العالي والواطي في أشباه الموصلات

### *Effect of High and Low Doping on the Semiconductors*

لقد تمت ملاحظة أنه عند درجات التطعيم العالية فإن اختراقية الجسيمة الثقيلة أو الخفيفة يكون أكثر عند درجات التطعيم الواطئة وهذا يعمل على تغيير في بعض الخواص الفيزيائية وتشكيل بعض العيوب الإلكترونية في الأجهزة المستعملة لاسيما عند التطعيم العالي، ولقد درس بعض الباحثين أنواع التطعيم وبمختلف درجاته (سواء التطعيم العالي أو الواطي) إذ العيب (Defect) يتولد طالما المؤثر موجود. [٨٦] وإن النسب المستعملة في التطعيمات هي نفسها عند التأثير بجسيمات ألفا وجسيمات بيتا لمعرفة مدى الاختراق الأكثر من ناحية التشويب الحاصل، كذلك لبيان أي التطعيم أفضل من العناصر المستعملة والمختارة عشوائياً من الجدول الدوري. [٧٢] أما من ناحية النسبة الوزنية للسليكون والجرمانيوم قد كانت ثابتة في كل حالة من حالات التطعيم الثلاثي والخماسي وهي (٠.١% wt)، وبذلك فقد تم حساب المديات المؤثرة ببرنامج (ZRATIO) والمحسوبة بالمعادلات الشبه تجريبية بالنسبة للسليكون أو الجرمانيوم المطعنين بالعناصر الثلاثية والخماسية تحت تأثير جسيمات ألفا أو بيتا، وتطبيق البرنامج قد أدى

إلى معرفة الفرق الحاصل في المدى قبل وبعد التطعيم، ولقد أتضح جلياً أن التراكيز العالية من التطعيم تؤثر تأثيراً ملموساً في الخواص الفيزيائية للمواد شبه الموصلة [٦٧]، ومن المؤكد أن إضافة شوائب من العناصر (الثلاثية أو الخماسية) إلى السليكون والجرمانيوم يغير من مواقع الذرات لكل منها، ومن ثم مدى التطعيم الذي يعتمد على النسبة الوزنية ونوع الجسيمة الساقطة ( $\alpha$  أو  $\beta$ ). [٨٦]

## ١٠-٢ : تطعيم أشباه الموصلات نوع ( $p,n$ ) بالتراكيز الوزنية

### *Doping of (n,p) Type Semiconductors with Weight Percent*

ان إحلال الطاقة للحاملات الأقلية في أشباه الموصلات تمت دراسته من عهد جديد في الكثير من التجارب، فتطعيم شبه الموصل نوع ( $p,n$ ) بإحدى عناصر المجموعة الثالثة أو الخامسة تبين أن استطارة (إلكترون-فجوة) ( $e-h$ ) وفقدان الطاقة يظهر بأهمية كبيرة في الحاملات الأقلية. ففي التجارب العملية الحديثة يكون تطعيم الجرمانيوم بالزرنيخ نوع ( $n$ -type) عند مستويات عالية تبلغ تقريباً ( $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) لمعدل فقدان الطاقة الناتجة من استطارة إلكترون-فجوة الذي يكون أعلى من المعدل الناتج من انبعاث الفوتونات في هذا النوع من التطعيم وعند مستويات تطعيم منخفضة أو معتدلة فإن الطاقة المتحولة بواسطة استطارة ( $e-h$ ) سوف تزداد مع زيادة تركيز التطعيم أما عند مستويات التطعيم العالية فيكون فقدان الطاقة معتمدة على نسبة التركيز لتلك المواد. [٦٦] في حالة تحديد معدل فقدان الطاقة الذي يمثل دالة لكثافة التطعيم، فيبين المدى في المواد المطعمة زيادة عند التركيز العالي، وأن نقصان فقدان الطاقة الكلية (قدرة الإيقاف الكلية) بزيادة سرعة الجسيمات المشعة، وهذا ناتج من الزيادة في الطاقات للجسيمات النووية، ومن ثم فإن استطارة ( $e-h$ ) ستصبح ذات فعالية أقل وتكون كدالة لفقدان الطاقة عن مستويات التطعيم العالية. فنسبة التطعيم الواطئة مع عناصر المجموعة الثالثة والخامسة، وتبين أن المدى المؤثر له الإمكانية القصوى على الاختراق العالي للمادة شبه الموصلة، مع ملاحظة أن الإشعاع بجسيمات ألفا سوف يزيد من كثافة حاملات الشحنة. [٦٣] أما من ناحية التطعيم بالنسبة الوزنية العالية فتبين أن المدى المؤثر يأتي بالدرجة الثانية تبعاً للزيادة الواضحة في النسبة ونقصان تلك المديات يقلل من الاختراق للجسيمات النووية المارة خلال المادة [٦٣, ٦٦]. [وقد تم استعمال قدرات الإيقاف من قبل (Ziegler, ٢٠٠١) الذي حسب الإيقاف الكلي ومدى الجسيمات ما بين ( $10 \text{ eV} - 2 \text{ GeV/amu}$ ) باستعمال قوانين الميكانيك الكمي للتصادمات الأيونية] [٦٠].

## ٢-١١: النسب الوزنية للمطعمات

### *Weight Percents of Dopants*

تم استعمال النسب الوزنية wt% (٠.٥, ٠.٠٥, ٠.٠٠٥) لتطعيم السليكون والجرمانيوم بالمطعمات الثلاثية والخماسية من الجدول الدوري بوساطة عمليات الإضافة المعتمدة، من خلال إضافة كمية صغيرة من المطعمات (Ga, Al, B)، (Sb, P, As) إلى (Si) أو (Ge)، وبنسب وزنية حددت في البحث من العلاقة بين الكثافة والأعداد الكتلية والنسب الوزنية كما هو موضح في الجدول (٢-٢).

الجدول (٢-٢) يبين التراكيز الوزنية للعناصر الثلاثية والخماسية في حالات تطعيم السليكون والجرمانيوم

النسب الوزنية (wt%)			الأعداد الكتلية	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	الرمز	اسم العنصر
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	١٠	٢.٣٤	B	البورون
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	٦٩	٥.٩١	Ga	الكاليوم
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	٢٦	٢.٧٠	Al	الألمنيوم
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	٣٠	١.٨٢	P	الفسفور
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	١٢١	٦.٦٢	Sb	الانتيمون
٠.٠٠٥	٠.٠٥	٠.٥	٧٤	٥.٧٢	As	الزرنيخ

## ١٢-٢: تأثير التطعيم في المدى الفعال لجسيمات ألفا وبيتا

### *Effect of Doping on the Effective Range of Alpha and Beta Particles*

لقد وجد من خلال التطعيم (Doping) لعنصري السليكون والجرمانيوم والمطعمة بعناصر المجموعة الثالثة وهي (البورون، الألمنيوم، الكاليوم) وعناصر المجموعة الخامسة وهي (الفسفور، الزرنيخ، الانتيومون) إن مدى جسيمة ألفا أو بيتا يزداد في السليكون والجرمانيوم النقي والمطعم، ونتيجة التطعيمات المعتمدة تتولد الكثير من العيوب في الأجهزة، والموحدات الإلكترونية والنبائط والترانسستورات فضلاً عن الأضرار الإشعاعية المتولدة من التطعيم، [٥٣] فالتركيز الوزنية التي قد أخذت بنظر الاعتبار هي wt% (٠.٥، ٠.٠٥، ٠.٠٠٥)، وعليه فقد تم معرفة تأثير كل نسبة في سلوكية ومدى الجسيمات في المادة المطعمة وتأثير الزيادة الناتجة في التشويب ومقارنتها من خلال التعرض لإشعاع ألفا من التأثير بإشعاع بيتا، على الرغم من أن التطعيم للمادة هو نفسه. وأن التطعيم بالنسبة الوزنية (wt% ٠.٠٠٥) التي تمثل أقل نسبة يطعم بها شبه الموصل (السليكون أو الجرمانيوم) فعند هذه النسبة يكون المدى المؤثر (Effective Range) يبلغ أعلى اختراق لإشعاع ألفا، والعلاقة الواضحة بين الطاقة وسرعة الجسيمات التي تكون أقل بكثير من سرعة الضوء ( $v \ll c$ ). [٥١] وهذه النتيجة هي مستخرجة من قاعدة (براك-كليمان) المتمثلة بالمعادلة الآتية: [٨٤]

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \dots\dots\dots(٢١-٢)$$

إذ تمثل:  $R_1$  مدى جسيمة ألفا أو بيتا في (Si و Ge)،  $R_2$  المدى المؤثر لجسيمة ألفا أو بيتا في (Ge و Si) المطعمين.

عندما  $(A_1, \rho_1)$  و  $(A_2, \rho_2)$  هما الكثافة والعدد الكتلي على التوالي للمادة شبه الموصلة النقية أو المركب (الخليط)، ويمكن إيجاد العدد الكتلي المؤثر من المعادلة الآتية: [٨٤]

$$\sqrt{A_{\text{eff}}} = \left( \sum_{i=1}^L (W_i / \sqrt{A_i}) \right) \dots\dots\dots(٢٢-٢)$$

عندما تكون الكميات  $W_i$ ،  $A_i$  هي النسب الوزنية للمادة والعدد الكتلي على التوالي. وفي حالة الممتصات التي هي إما مزجة أو مركبات يعطي العدد الذري المؤثر والوزن الذري المؤثر في حال استعمال التأثير بجسيمات ألفا أو بيتا بالمعادلة الآتية: [ ٨٤ ]

$$Z_{\text{eff}} = \sum_i^L W_i Z_i \quad \dots\dots\dots (٢٣-٢)$$

$$A_{\text{eff}} = Z_{\text{eff}} \cdot \left( \sum_i^L W_i (Z_i / A_i) \right) \quad \dots\dots\dots (٢٤-٢)$$

$$(\rho_{\text{eff}})^{1/2} = \sqrt{\rho_1} W_1 + \sqrt{\rho_2} W_2 \quad \dots\dots\dots (٢٥-٢)$$

وبإيجاد المدى المؤثر اعتماداً على المعادلات السابقة يمكن إيجاد  $(R_{\text{eff}})$  وحسب المعادلة الآتية:  
[ ٨٤ ]

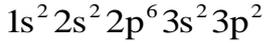
$$R_{\text{eff}} = R_1 W_1 + R_2 W_2 \quad \dots\dots\dots (٢٦-٢)$$

من خلال المعادلة ( ٢٦-٢ ) يمكن معرفة المديات المطعمة ولكل العناصر المستعملة اعتماداً على النسب الوزنية المختارة، فضلاً عن التعبير على الكثافة المؤثرة (بعد التطعيم) ومقارنتها مع الكثافة (قبل التطعيم) من حيث الزيادة في التشويب الحاصل. [ ٢٧ ]

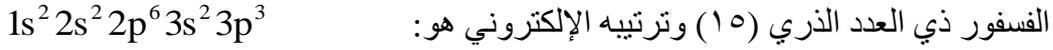
## ١٣-٢ : تفاعلات تأين الإشعاع مع أشباه الموصلات

### *Interactions of Ionized Radiation with Semiconductors*

تستعمل المواد شبه الموصلة في الكواشف بوساطة تطعيمها بشوائب تؤدي إلى إنتاج الشحنات عند مرور الإشعاع، ويؤدي التطعيم إلى إضافة مستويات طاقة مسموحة داخل المناطق الممنوعة. فعنصر السليكون ذو العدد الذري (١٤) يمتلك ترتيباً إلكترونياً هو: [ ٨٦ ]



أي أن السليكون رباعي التكافؤ، وأن فجوة الطاقة تبلغ مقدار (١.١ eV)، فإذا أضفنا شوائب



أي أنه خماسي التكافؤ، فإن شبيكة السليكون المطعمة بالفسفور ستحتوي على أكثر من إلكترون قرب منطقة التوصيل ضعيف الارتباط موازنة مع الإلكترونات الأربعة الأخرى المرتبطة مع إلكترونات السليكون، والشيء نفسه يمكن حصوله في الجرمانيوم رباعي التكافؤ أيضاً.

وبالطريقة نفسها إذا طعم السليكون بالبورون عدده الذري (٥) وترتيب إلكتروناته هو:

$1s^2 2s^2 2p^1$  فإن أوامر ربط السليكون مع البورون ستقل واحدة بسبب عدد إلكترونات التكافؤ الثلاثة في البورون. أما عند دمج نوعي التطعيم سوية يتكون ما يسمى باتصال أو مقطع (p-n)، لأن الإلكترونات في نوع (n) والفجوات في نوع (p) تتحرك كل منها بالانتشار، أي تنتقل من المواقع شديدة التركيز نحو المناطق قليلة التركيز.

إن انتشار حاملات الشحنة نحو بعضها يؤدي إلى تكون منطقة مستنزفة من حاملات

الشحنة الرئيسية في المنتصف، بسبب ملئ إلكترونات منطقة (n) فجوات منطقة (p). عندما تتكون منطقة اتصال (p-n) الناتجة من شريحة سليكون مطعمة بأحد النوعين ثم يكون التطعيم الثاني فوقها بطرائق مختلفة مثل التسخين أو التبخر أو الانتشار. [ ٢٧ ]

فعند سقوط الأشعة النووية على المادة شبه الموصلة، فسوف تتحرر إلكترونات وفجوات

في المنطقة المستنزفة، وإن الطاقة المفقودة للجسيمات النووية من خلال التصادمات الإلكترونية ناتجة من خلق أزواج (إلكترون-فجوة)، أن أصغر قيمة فجوة الطاقة في المواد شبه الموصلة يؤدي إلى انخفاض معدل الطاقة اللازمة لإنتاج إلكترون-فجوة بحوالي (٣ eV)، وبذلك فإن عدد

أزواج الإلكترون-فجوة، الناتجة من تفاعلات الأشعة النووية مع الكاشف سيكون كبيراً، وهذا يؤدي إلى تراوح إحصائي قليل ثم تتحسن قابلية تحليل الطاقة نتيجة لذلك. [ ٨٦ ]

أما من جانب إضافة الشوائب أو التطعيم يسبب مشكلة وهي أن مادة التطعيم تميل إلى التجمع ضمن مادة البلورة بدلاً من التوزيع المتجانس ضمنها، وذلك في درجة حرارة الغرفة، لذلك يصبح تبريد الكاشف أثناء الخزن وعدم الاستعمال حالة ضرورية لمنع تغير الترتيب البلوري للتطعيم داخل البلورة. ويبين الجدول (٢-٣) بعض الخصائص الذاتية للسليكون والجرمانيوم وتأثير هذه الخصائص في درجات الحرارة الواطئة. [ ١١ ]

الجدول (٢-٣) يوضح بعض الخصائص الذاتية للسليكون والجرمانيوم [١١]

الجرمانيوم	السليكون	الخصائص الذاتية
٣٢	١٤	العدد الذري
٧٢.٦٠	٢٨.٠٩	الوزن الذري
٥.٣٣	٢.٣٣	الكثافة (غم/سم <sup>٣</sup> ) في ٣٠٠ كلفن
١٦	١١.٨	ثابت العزل
٠.٦٧	١.١٠٦	فجوة الطاقة (أ.ب) في ٣٠٠ كلفن
-	٣.٦٢	معدل الطاقة اللازمة لإنتاج إلكترون فجوة (أ.ب) في ٣٠٠ كلفن
٢.٩٦	٣.٧٦	معدل الطاقة اللازمة لإنتاج إلكترون فجوة (أ.ب) في ٧٧ كلفن
٤٧	٢.٣*١٠ <sup>٥</sup>	الممانعة (أوم.سم) في ٣٣٠ كلفن
٣٩٠٠	١٣٥٠	معامل تحرك الإلكترونات (سم <sup>٢</sup> /فولت.ثا) في ٣٠٠ كلفن
٣.٦*١٠ <sup>٤</sup>	٢.١*١٠ <sup>٤</sup>	معامل تحرك الإلكترونات (سم <sup>٢</sup> /فولت.ثا) في ٧٧ كلفن
١٩٠٠	٤٨٠	معامل تحرك الفجوة (سم <sup>٢</sup> /فولت.ثا) في ٣٠٠ كلفن
٤.٢*١٠ <sup>٤</sup>	١.١*١٠ <sup>٤</sup>	معامل تحرك الفجوة (سم <sup>٢</sup> /فولت.ثا) في ٧٧ كلفن

## ٢-٤: أنواع ضرر الإشعاع على المواد شبه الموصلة

### *Types of Radiation Damage on the Semiconductor Materials*

تحدث عمليات نتيجة للتأثير الإشعاعي المتولد عن طريق جسيمات متعادلة كالنيوترونات أو مشحونة مثل الإلكترونات وجسيمات ألفا أو عن طريق أشعة كاما، الأشعة السينية، إشعاع الليزر، أو الأشعة فوق البنفسجية، ويقترّب تأثير الإلكترونات من تأثير أشعة كاما

والطاقة التي يمكن أن يكسبها الإلكترون نتيجة تأثير النيوترونات مماثل لتأثيره الكلاسيكي الخاص بتأثير الجسيمات. إن التفاعل الناجم بين الجسم المشحون ونوى شبه الموصل يحدث بشكل كامل، باستطارة رذرفورد تقريباً وبتركز الضرر الحاد الناتج من النيوترونات السريعة والإلكترونات، ذات توزيع منتظم من العيوب والتشيع بكما ينتج إلكترونات مرتدة التي تكون مسؤولة عن ضرر الإشعاع. [ ٨٧ ] بالرغم من انه يمكن ادخال كل العيوب (Imperfection) بالعمليات الكيميائية لأعداد كبيرة من الفجوات والبينيات يمكن ان يولد بالأشعاع المحدد اما بجسيمات ثقيلة او بالالكترونات او حتى بوساطة اشعاعات كاما، خلال الالكترونات الطاقية (Energetic Electrons) وهذا ما يدعى بالضرر الاشعاعي. [ ٨٧ ]

وتتولد أضرار إشعاعية بتأثير الزرع الأيوني أيضاً، كما هو ملاحظ من خلال المجهر الإلكتروني [ ١٧ ] . وفي حالة التشيع العالي تتكون مناطق عشوائية تحتاج إلى تليدين لإعادة التبلور [ ١٥ ] ، وعموماً يحدث الانتقال من الحالة العشوائية إلى البلورية عند درجة حرارة أكثر من (٦٠) درجة مئوية.

لقد استعملت مصادر إشعاعية خارجية، اشتملت على المعجلات (Accelerators) ومصادر جسيمات طبيعية مثل ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) وكان التشيع بالمفاعل النووي له أوسع الاستعمال، بينما المفاعلات النووية المتمثلة بالتنشيط النيوتروني، قد استعملت لدراسة أنواع خاصة من الأضرار [ ١٦ ] ، ويسبب حجم البينيات والفجوات المقارنة للحجوم الذرية، فتتعدر الملاحظة المباشرة لهذه العيوب، لكن العناقيد الصغيرة الناتجة من العيوب النقطية، الانخلاعات وعيوب التراص التي هي أضعاف الحجوم الذرية، يمكنها أن تعطي ملاحظات مباشرة عن طبيعتها وخواصها عن طريق المجهر الإلكتروني [ ٣٩ ] .

## ١٥-٢ : العيوب الإشعاعية في النباط

### *Radiation Defects in Devices*

هنالك برامج هندسية وشروط تصنيع لمواد النباط، التي يمكن أن يتفاوت سلوكها حسب حجم النباط المصنعة، والتنبأ بسلوك العيب المتولد، وكذلك التصاميم المسماة بتصليب الإشعاع (Radiation Hardening) لأغراض المنظومات المستعملة في بيئات الإشعاع النووي والفضائي. وقد أجريت قياسات عديدة لمعلمات النبيطة، لفهم سلوك العيب المتولد في تركيب النبيطة، وتأثير الحاملات الفائضة (Excess Minority Carriers) في الانحياز الأمامي

المتولد نتيجة التشعيع، على تكوين العيب وإعادة الترتيب، لتحديد مستويات طاقة العيب في المقاطع العرضية، فدور العيوب في مناطق شحنة الفضاء شبه المتعادلة في النبايط، قد وضحت معالمها من قبل (Gogory, ١٩٧٢) [ ٨٨ ] ، ولما يكون عمق الاختراق محدوداً وصغيراً جداً ، فقد ظهر أنه كافٍ لتطويع النبيتة، باستعمال تقنية الزرع الأيوني في أشباه الموصلات المطعمة [١٦] .

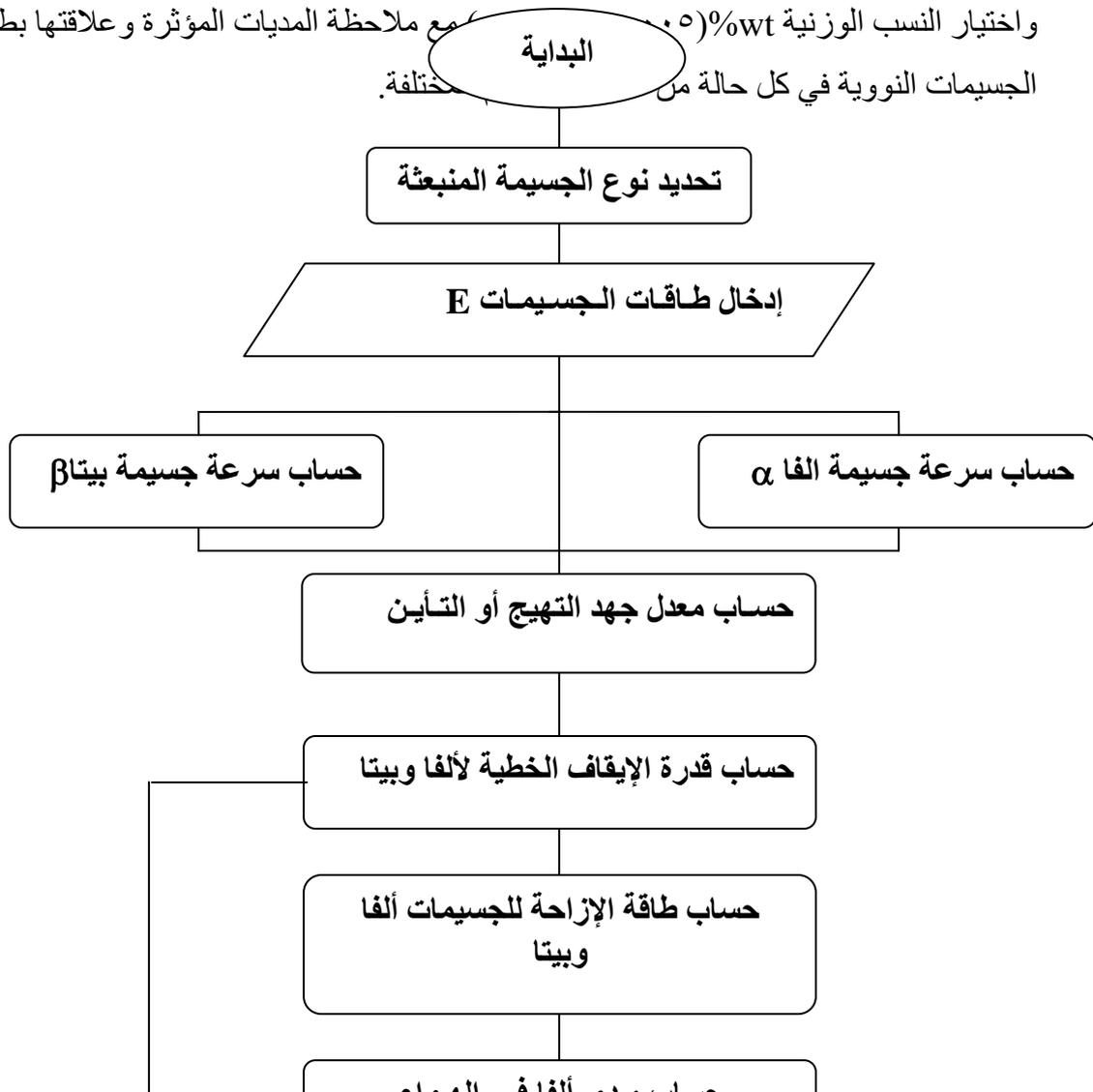
## ١٦-٢ : العيوب الإلكترونية في أشباه الموصلات

### *Electronic Defects in Semiconductors*

إن أبسط وأغلب العيوب النقطية الأساسية في المادة بحالتها الصلبة هي الفجوة والشائبة التعويضية (Substitutional Impurity) والذرة البينية (Interstitial Atom). لقد كانت أغلب الدراسات مكرسة في العيوب التي تخلق من التشعيع الإلكتروني واستعمال تأثير هول (Hall Effect)، والتوصيلية، وقياسات الرنين البارامغناطيسي الإلكتروني (Electron Paramagnetic Resonance) (EPR) في المادة بحالتها الحجمية، ومطياف الانتقال العميق المستوى (Deep-Level Transient Spectroscopy) بواسطة (Lang, ١٩٧٤) للحصول على تركيز كل عيب وموقع المستوي المتجمع في منطقة الفجوة الممنوعة وكذلك المقطع العرضي لاقتناص الإلكترون، ويكون مفهوم الإلكترون المفقود (Missing Electron) [٣] ، أو عيب حاملة الشحنة ضرورياً في محيط من العيوب التركيبية، لأن الأصرة المحطمة يمكن أن يكون لها قلب شحنة موجبة أو سالبة، ويغلب نقل الحاملة في حالات من شحنة الفراغ (Space Charge). وقد يحدث تكافؤ بين شوائب سطح الأرضية والمطعم (Dopant) يزيد من عدد مراكز الاستطارة المتعادلة وتحصل هذه بالنسبة لأغشية من نوع (p) و (n) التي تبين هذه التأثيرات حصول التطعيم الذاتي، وتبدو هذه الظاهرة أكثر وضوحاً في أغشية نوع (n) [ ٨٩ ] . إن الشروط الحدودية (Boundary Conditions) لطبقات المفرق (p-n) المتماثلة يؤكد على تبسيطها لأجل الحصول على حلول سهلة، لهذا تعالج عموماً تأثيرات العيوب الإلكترونية النوعية كحالة مهملة، بينما مجال تأثيرات العيوب الإلكترونية وبشكل أساسي الانخلاعات، فلقد حاول (Norman & Holt, ١٩٨٨) تحديد عمق العيب في مفرق (p-n) العميق (Deep pn Junction) ولأقصى زوج (إلكترون-فجوة)، ولتقسيم العيوب الإلكترونية فإنها تقسم إلى نوعين هما تكوين الفجوات (Formation of Vacancies) وكثافة الانخلاعات (Dislocations Density) [ ٨٩ ] .

## ١٧-٢ : برنامج الحاسبة المستعمل *Computer Program*

تم تطبيق البرنامج الفرعي (ZRATIO) الذي تمت كتابته مع البرنامج الرئيس بلغة فورتران (٧٧) وقد تم ادخال المعلمات (Parameters) في البرنامج والمتمثلة بسرعة الجسيمات  $(v^2)$ ، العدد الذري للمادة شبه الموصلة (z)، وكذلك كثافة المادة شبه الموصلة ( $\rho$ )، مع ملاحظة ان سرعة الجسيمات النووية تتغير تبعاً لطاقة النظائر المشعة بالنسبة لجسيمات الفا وبيتا. فمن خلال هذه المتغيرات تم تنفيذ البرنامج ويجاد قدرة الايقاف الخطية لجسيمات الفا وبيتا في السليكون والجرمانيوم وحسب المعادلتين (١٠-٢)، (١٣-٢). اما بالنسبة لحساب طاقة الازاحة  $(E_d)$  لجسيمات بيتا في السليكون والجرمانيوم اذ تم ادخال المعلمات (Parameters) في البرنامج الفرعي المتمثلة بطاقات جسيمة بيتا ( $E_{min}$ ) المتغيرة حسب نوع النظير المشع لبيتا، وبثبوت القيم ( $M, c, m_0$ ) في المعادلة (٢-١٥) يمكن ايجاد طاقة ازاحة جسيمة بيتا في السليكون والجرمانيوم. ومن خلال الحصول على قدرات الايقاف الخطية لجسيمات الفا وبيتا في اشباه الموصلات تم ايجاد المديات المؤثرة ( $R_{eff}$ ) والمطعمة بعناصر المجموعة الثالثة (البورون، الالمنيوم، الكالسيوم) والخامسة (الفسفور، الانتيمون، الزرنيخ) من الجدول الدوري اعتماداً على المعادلة (٢-٢٦) من خلال ايجاد المتغيرات ( $R_1$ )، ( $R_2$ ) من المعادلة شبه التجريبية واختيار النسب الوزنية %wt (٠.٥) مع ملاحظة المديات المؤثرة وعلاقتها بطاقة الجسيمات النووية في كل حالة من مختلفه.



## الفصل الثالث

### النتائج والمناقشة

## Results and Discussion

٣-١: حساب قدرة الإيقاف الخطية للجسيمات ألفا وبيتا في اشباه الموصلات ( -

$$(dE/dX)$$

إن صيغة بيتا - بلوخ في معادلة (٢-١٠)، (٢-١٣) تعد من الصيغ المهمة في حساب قدرة الايقاف الخطية للجسيمات الثقيلة والخفيفة والتي تعتمد على سرعة الجسيمة وكتلتها، وذلك من خلال استعمال المعادلة الكلاسيكية لإيجاد سرع الجسيمات المشحونة، بالاعتماد على طاقات النظائر المشعة بالنسبة لجسيمة الفا وبيتا، فقد أظهرت النتائج النظرية توافقها مع النتائج العملية، حيث ان قدرة الايقاف الخطية تناقصت مع زيادة طاقة الجسيمة، لذا فقد تم حسابها من خلال البرنامج الفرعي (ZRATIO)، وبمقارنة النتائج النظرية مع النتائج العملية وفق البرنامج المذكور والمسمى ( Stop )، وكما تظهر النتائج النظرية المستحصلة بأنها ذات تطابق جيد مع القياسات العملية للعديد من الباحثين. لقد بينت نتائج قدرة الايقاف الخطية ( $-dE/dX$ ) بأنها تقل بزيادة طاقات النظائر المشعة لجسيمات الفا وبيتا في مادتي السليكون والجرمانيوم، وهي تتناسب عكسياً مع سرع تلك الجسيمات المشحونة وكما موضح في الأشكال الآتية، (٣-١)، (٣-٢)، (٣-٣)، (٣-٤) :

شكل (٣-١) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع قدرة الايقاف الخطية لأشعة الفا في عنصر السليكون النقي

شكل (٣-٢) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع قدرة الايقاف الخطية لأشعة الفا في عنصر الجرمانيوم النقي

الشكل (٣-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع قدرة الايقاف الخطية في عنصر السليكون النقي

شكل (٤-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع قدرة الايقاف الخطية في عنصر

#### الجرمانيوم النقي

إن التناسب العكسي في كل الرسومات يعزى إلى ان الجسيم الساقط كلما كانت طاقته كبيرة كلما كان زمن التفاعل قليل وفقدان الطاقة يكون قليل ايضاً، أي ان قدرة الايقاف الخطية تتناسب عكسياً مع مربع سرعة الجسيمات ( $v^2$ ). كما لاحظ ذلك كل من (Heller) عام (١٩٥١) و (Grahmann and Kalbitzer) عام (١٩٧٦). ان أهمية معادلة بيتا - بلوخ تتضح في تمثيل النتائج العملية بصورة جيدة وخاصة" في المنطقة العظمى للتوقف والتي ينتج فيها وصف للنتائج النظرية. فالشكلان (١-٣) و (٢-٣) يوضحان قدرة الايقاف الخطية (Linear Stopping Power) في السليكون والجرمانيوم على التوالي لجسيمة الفا ونرى ان الانخفاض التدريجي مقابل الزيادة في طاقة النظائر المشعة بالنسبة لجسيمة الفا سببه تناقص قدرة ذرات Ge و Si على إيقاف الفا بزيادة طاقتها عند الاختراق. إما الشكل (٣-٣) فيبين النقصان التدريجي لقدرة الإيقاف في عنصر السليكون النقي مع الزيادة في طاقات النظائر المشعة بالنسبة للجسيمة بيتا و الشكل (٤-٣) يوضح النقصان في قدرة الايقاف مع زيادة طاقة الجسيمة لعنصر الجرمانيوم النقي وكما لاحظاها ( ١٩٨٤ ) (Santry) و (١٩٩٦) (Niemann). والجدول (١-٣) يبين النتائج النظرية والعملية لقدرة الإيقاف الخطية للسليكون والجرمانيوم لنظائر مختلفة تبعث جسيمات الفا وبيتا، حيث يلاحظ أن قدرة الإيقاف الخطية تكون عالية لجسيمات بيتا مقارنة بجسيمات ألفا وإن القيم النظرية والعملية متوافقة حسب الجدول أدناه [٥٩] .

الجدول ( ٣-١ ) يوضح النتائج النظرية ومقارنتها مع النتائج العملية لقدرة الايقاف الخطية بالنسبة للسليكون والجرمانيوم

النظير المشع	نوع الإشعاع	طاقة النظير (MeV)	حساب قدرة الإيقاف الخطية (MeV/cm) (عملياً) [٥٩]	حساب قدرة الإيقاف الخطية (MeV/cm) (نظرياً)
<sup>٢٢٦</sup> Ra	ألفا	٤.٦٨٠	( Si)١.٢٤٣٥	(Si)١.٠٢٢٧
<sup>٢٣٥</sup> U	ألفا	٤.٥٩٠	(Si)١.١٨٥٩	(Si)١.٠٧٨٤
<sup>٢١٢</sup> Po	ألفا	٥.١٦٠	(Ge)٠.٨٧١١	(Ge)٠.٦٠٤
<sup>٢٤٣</sup> Am	ألفا	٥.٢٧٠	(Ge)١.١٤٩٥	(Ge)١.٠١٩٤
<sup>٦٣</sup> Ni	بيتا	٠.٠٦٧٠	(Ge)٥.٢٣١١	(Ge)٤.٨٧٥
<sup>١٤</sup> C	بيتا	٠.١٥٦٠	(Ge)٨.٢٩١٤	(Ge)٨.٦٣٤

### ٣-٢: حساب معدل جهد التهيج أو التأين لذرات المادة

من خلال تطبيق المعادلة التجريبية (٢-١١) فقد تم إيجاد قيم جهود التهيج أو التأين لعنصري السليكون والجرمانيوم، وحسب الجدول (٣-٢) حيث تم إيجاد فرق بسيط في نسبة الخطأ بين القيمتين (النظرية والعملية) [٥٨].

الجدول (٣-٢) يبين النتائج العملية والنظرية لمعدل جهد التهيج أو التأين لمادتي السليكون والجرمانيوم

المادة شبه الموصلة	جهد التهيج أو التأين بوحدات (eV) المقاسة (نظرياً)	جهد التهيج أو التأين بوحدات (eV) المقاسة (عملياً) [٥٨]
السليكون	١٧٢.٢٥	١٧٢.٠٣٢

٣٤٢.٤٠	٣٤٢.٧٦	الجرمانيوم
--------	--------	------------

### ٣-٣: حساب طاقة الإزاحة لجسيمات بيتا ( $E_d$ )

ان العلاقة شبه التجريبية الموضحة في المعادلة ( ٢ - ١٥ ) تبين أن العلاقة طردية بين طاقة نقطة النهاية الصغرى ( $E_{min}$ ) لجسيمة بيتا وطاقة الازاحة ( $E_d$ )، حيث تم تطبيق برنامج (ZRATIO) ومقارنة النتائج العملية مع النتائج النظرية من خلال تطبيق البرنامج، وايجاد سلوك طاقة الإزاحة اعتماداً على الكتل لكل من عنصري السليكون والجرمانيوم وإدخالها في العلاقة شبه التجريبية (٢-١٥)، وحسب الشكل (٣-٥)، والشكل (٣-٦) الذين يبينان الزيادة التدريجية ثم الزيادة السريعة في طاقة الإزاحة ( $E_d$ ) مع زيادة قيم طاقات النظائر المشعة بالنسبة لجسيمة بيتا في عنصري السليكون والجرمانيوم، وهذه النتائج مطابقة لما توصل إليه Santry (١٩٨٤) [٥٩] . والجدول (٣-٣) يوضح القيم العملية والنظرية لطاقات الازاحة لجسيمات بيتا في عنصري Si و Ge حيث يلاحظ أنها تزداد بزيادة طاقة النهاية الصغرى.

الجدول (٣-٣) يوضح القيم العملية والنظرية لطاقة الإزاحة لجسيمة بيتا لعنصري السليكون والجرمانيوم

العنصر المشع لجسيمة بيتا	طاقة نقطة النهاية الصغرى $E_{min}(MeV)$	القيمة العملية لطاقة الإزاحة (Ed) بوحدات MeV [٥٩]	القيمة النظرية لطاقة الإزاحة (Ed) بوحدات MeV المقاسة من البرنامج
$^{63}Ni$	٠.٠٦٧	(Si) ١٥.١١٠	(Si) ١٤.٦١١٠
$^{60}Co$	٠.٣١٠	(Ge) ١٢.٨٣٤٠	(Ge) ١٢.٣٥١٠
$^{68}Zn$	٠.٣٣٠	(Ge) ١٦.١٩٠	(Ge) ١٥.٨٨٢٠
$^{99}Tc$	٠.٢٩٠	(Si) ١٦.٤١٩٠	(Si) ١٥.٥٤٠
$^{214}pb$	٣.٢٨٠	(Si) ١٨.٤٠٠٣	(Si) ١٧.٩٨٣٠

شكل (٣-٥) يوضح العلاقة بين طاقات جسيمة بيتا مع طاقة الإزاحة في عنصر السليكون النقي

شكل (٣-٦) يوضح العلاقة بين طاقات جسيمة بيتا مع طاقة الإزاحة في عنصر الجرمانيوم النقي

### ٣-٤ : حساب مدى جسيمات ألفا في الهواء ( $R_{air}$ )

باستعمال المعادلة (١٧-٢) لإيجاد مدى جسيمات ألفا في الهواء وبحدود الطاقات المحددة بين ( $٨ MeV < E\alpha \leq ٤$ )، فقد تبين ان العلاقة طردية بين مدى الفا في الهواء وطاقات النظائر المشعة لجسيمة الفا، وكانت النتائج العملية متطابقة تقريبا مع النتائج النظرية التي تم الحصول عليها، من قبل (Oliver, ٢٠٠٠) [٦٥]. ويوضح الشكل (٣-٧) العلاقة بين طاقة جسيمة الفا ومداهما في الهواء، فمن الملاحظ في الشكل انه بزيادة طاقات النظائر بالنسبة لجسيمة الفا يزداد مدى جسيمات ألفا في الهواء وعليه فيزيادة المديات يزداد اختراق جسيمة الفا في الهواء وبشكل خطي.

الشكل (٣-٧) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع مدى جسيمات ألفا في الهواء

### ٣-٥: حساب المدى في شبه الموصل (السليكون والجرمانيوم) لجسيمات ألفا وبيتا

حسب المعادلة التجريبية التي تم ذكرها في الفصل السابق (٢-١٦) والتي تم من خلالها حساب المديات للجسيمات النووية في السليكون والجرمانيوم واعتماداً على الأعداد الكتلية والكثافات يلاحظ ان العلاقة طردية بين المدى و طاقات النظائر المشعة وبالتالي فقد أظهرت النتائج النظرية إنها متوافقة تقريباً مع النتائج العملية المقدمة ومن قبل العالم (١٩٥١) (Heller) [٤٧]. ويوضح الشكل (٣-٨) ان قيم مديات جسيمة ألفا في عنصر الجرمانيوم النقي اقل من عنصر السليكون النقي، بسبب صغر كثافة السليكون نسبةً الى الجرمانيوم، وهذا معناه ان تراصف شبه الموصل للسليكون أعلى من الجرمانيوم مما يعيق وصول الجسيمات إلى مديات اعلى مما يجعل قدرة الايقاف للسليكون اعلى من الجرمانيوم التي تمثل تغير طاقة الجسيمة بالنسبة لإزاحة الأختراق بذلك فالعيوب في السليكون النقي تكون أقل منها في الجرمانيوم النقي لصغر مدى جسيمة ألفا في الـ (Si) نسبة للـ (Ge)، أما الشكل (٣-٩) فيبين الزيادة التدريجية في مدى جسيمة بيتا بزيادة طاقتها ويلاحظ ان مدى جسيمة بيتا في عنصر السليكون أعلى من مداها في عنصر الجرمانيوم النقي بسبب كون قابلية الاختراق لجسيمات بيتا اكبر من جسيمات الفا وقابلية توليدها لعيوب خطية والكترونية، وانتقال بعض الذرات إلى مواقع بينية جراء التصادم.

### شكل (٣-٨) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع مداها في السليكون والجرمانيوم النقي

### شكل (٣-٩) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع مداها في السليكون النقي والجرمانيوم

#### النقي

إذ تبين الأشكال الزيادة التدريجية بين طاقة الجسيمة (Energy) والمدى في السليكون النقي والجرمانيوم النقي يتوافق مع ما توصل إليه (Zigler [٦٩]).

### ٣-٦: حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة ألفا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الثالثة من الجدول الدوري

من خلال تطبيق المعادلة (٢-٢٦) التي توضح العلاقة الطردية بين طاقة جسيمة ألفا للنظائر المشعة (E) مع المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) للسليكون والجرمانيوم المطعنين بعناصر المجموعة الثالثة وهي (البورون، الكالسيوم، الألمنيوم) وحسب التراكيز الوزنية المختارة (% wt, ٠.٥, ٠.٠٥, ٠.٠٠٥) كما لاحظها كل من Hubert عام (٢٠٠٠) [٦٦] و (Goulding [٦٨] عام (٢٠٠١) حيث تم استخدام البرنامج الفرعي (Z-RATIO) وإدخال المعلمات Parameters ( $R_1$ ), ( $R_2$ ) و

( $W_1, W_2$ ) حسب المعادلة (٢٦-٢) للحصول على المديات المؤثرة والجدول (٤-٣) يوضح القيمة العملية والنظرية للمدى المؤثر في السليكون المطعم بالكاليوم بالنسبة لأشعة ألفا حيث يلاحظ زيادة ملحوظة مقارنة بالقيمة العملية بنسبة من الخطأ المحسوب من البرنامج [٦٧].

الجدول (٤-٣) يوضح القيم العملية والنظرية للمدى المؤثر لأشعة ألفا في السليكون المطعم بالكاليوم

المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) gm/cm <sup>٢</sup>		طاقة النظير المشع (MeV)	نوع النظير المشع لجسيمات ألفا
القيم النظرية	القيم العملية [٦٧]		
٠.٠٠٠٠١٢١٢٠	٠.٠٠٠٠١٤٠	٣.١٨	<sup>١٤٨</sup> Gd
٠.٠٠٠٠٢٦٠	٠.٠٠٠٠١٥٩٠	٤.٤٠	<sup>٢٣٦</sup> U
٠.٠٠٠٠٣٥٩٥٠	٠.٠٠٠٠٢٤٤٠	٥.٢٧	<sup>٢١٠</sup> Po
٠.٠٠٠٠٥٠٨٥٠	٠.٠٠٠٠٤٦٧٠	٦.٦٣	<sup>٢١٦</sup> At

وحسب الأشكال البيانية الموضحة (١٠-٣)، (١١-٣)، (١٢-٣)، (١٣-٣)، (١٤-٣)، (١٥-٣)،

شكل (١٠-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالبورون

شكل (١١-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالكاليوم

شكل (١٢-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالألمنيوم

شكل (١٣-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالبورون

شكل (١٤-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالكاليوم

شكل (١٥-٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة ألفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالألمنيوم

حيث يلاحظ من الأشكال السابقة زيادة المدى عند النسب العالية %٠.٥ ونقصانها كلما خفضت نسبة التطعيم في كل التطعيمات المذكورة بسبب تولد عيوب التطعيم بالشوائب عند زيادتها، وان هذا المدى المؤثر يزداد بزيادة طاقة جسيمة ألفا بنسب تختلف باختلاف نوع عنصر التطعيم من المجموعة الثالثة، حيث نلاحظ ان اقل مدى مؤثر أمكن الحصول عليه عند تطعيم السليكون بالبورون. وكانت النتائج متوافقة نوعاً ما مع ما توصل اليه Hubert عام (٢٠٠٠) [٦٦].

### ٧-٣ : حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة الفا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري

من خلال تطبيق المعادلة (٢-٢٦) لوحظ ان العلاقة طردية بين طاقة الجسيمة الفا (Energy) والمدى المؤثر في عنصري السليكون أو الجرمانيوم المطعمين بعناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري وهي (الفسفور، الانتيمون، الزرنيخ) وبالنسب الوزنية (٠.٥، ٠.٠٠٥، ٠.٠٥) wt% المختارة، وكانت النتائج متوافقة تقريبا مع Biersack عام (٢٠٠٤) [٦٦]. وتوضح الأشكال (٣-١٦)، (٣-١٧)، (٣-١٨)، (٣-١٩)، (٣-٢٠)، (٣-٢١) تأثير زيادة طاقة جسيمات الفا من نظائر العناصر المذكورة في الفصل السابق في المدى المؤثر لهذه الجسيمات في شبه الموصل المطعم حيث يلاحظ ان زيادة التطعيم لجميع المطعمات تزيد من مديات الفا المؤثرة لنفس قيم الطاقة وان تطعيم السليكون بالزرنيخ في النسبة (٠.٠٠٥%) هي الأفضل في الحصول على أدنى مدى مؤثر للجسيمة وبالتالي اقل عيوب ممكنة لبنائط أشباه الموصلات المطعممة لأنواع (n)، ان زيادة نسبة التطعيم تولد عيوباً جراء التطعيم بنسب عالية كما ان العدد الذري للعنصر المطعم له تأثير في الارتباطات الذرية للسليكون أو الجرمانيوم التي لها أواصر تساهمية تعتمد على مستويات الطاقة لشبه الموصل المطعم الناتج.

شكل (٣-١٦) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالفسفور

شكل (٣-١٧) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالانتيمون

شكل (٣-١٨) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالزرنيخ شكل (٣-١٩) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالفسفور

شكل (٣-٢٠) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالانتيمون

شكل (٣-٢١) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة الفا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالزرنيخ

توضح الأشكال أنواع التطعيم الخماسية، حيث تتمثل النسبة الوزنية wt (% 0.005) أقل النسب المستعملة في تحديد سمك واختراق الأشعة الثقيلة المادة المطعمة بأقل مدى خلال المادة.

### ٣-٨: حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة بيتا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الثالثة من الجدول الدوري

عند تطبيق المعادلة (٢-٢٦)، لوحظ ان العلاقة طردية بين طاقة جسيمة بيتا والمدى المؤثر في السليكون أو الجرمانيوم وتوضح الأشكال (٢-٢٢)، (٢-٢٣)، (٢-٢٤)، (٢-٢٥)، (٢-٢٦)، (٢-٢٧). زيادة المدى المؤثر للجسيمات مع زيادة طاقة الجسيمة لشوائب التطعيم بالنسبة الوزنية wt (% 0.005, 0.005, 0.005) وان نسبة التطعيم (% 0.5) تعطي أعظم قيم للمدى المؤثر بسبب تولد العيوب جراء التطعيم نتيجة الارتباطات المتولدة والتأصر مع الشوائب مما يغير من الهيكل البلوري لشبه الموصل إذا كانت بلورية وزيادة الأواصر المتدلالية (Dangling Bonds) إذا كانت متعددة التبلور أو عشوائية. مما يفسح المجال للجسيمات في اختراق المادة والفقدان التدريجي لطاقته لحين وصولها إلى إزاحة الايقاف وهذا يعتمد على نوع شبه الموصل السليكون أو الجرمانيوم وقدرة إيقافه للجسيمة الداخلة وهذا يتوقف على معامل التراص لمادة شبه الموصل البلورية ، ويلاحظ ان أدنى مدى مؤثر لجسيمة بيتا كان عند تطعيم (الجرمانيوم أو السليكون) بأحد عناصر المجموعة الثالثة (البورون) بسبب كون العدد الذري للعنصر المطعم هو (5) ويكون أقل من الكاليوم والألمنيوم، حيث تحدث ترابطات بين ذرات السليكون يقلل من الفراغات والعيوب المتولدة جراء التطعيم كما لاحظها Goulding عام (٢٠٠١) [ ٦٨ ].

شكل (٢-٢٢) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالبورون

شكل (٢-٢٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالكاليوم

شكل (٢-٢٤) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالألمنيوم

شكل (٢-٢٥) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالبورون

شكل (٢-٢٦) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالكاليوم

شكل (٢-٢٧) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالألمنيوم

### ٣-٩: حساب المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لأشعة بيتا في شبه الموصل المطعم بعناصر المجموعة الخامسة من الجدول الدوري

عند تطبيق المعادلة (٢-٢٦) لوحظ ان العلاقة طردية بين طاقة جسيمة بيتا والمدى المؤثر في عنصري السليكون و الجرمانيوم وتوضح الأشكال (٢-٢٨)، (٢-٢٩)، (٢-٣٠)، (٢-٣١) زيادة المدى المؤثر للجسيمات مع زيادة طاقة الجسيمة لشوائب التطعيم بالنسب الوزنية wt% (٠.٠٠٥, ٠.٠٥, ٠.٥) وان نسبة التطعيم (٠.٥%) تعطي أعظم قيم للمدى المؤثر بسبب تولد العيوب جراء التطعيم نتيجة الارتباطات المتولدة والتأصر مع الشوائب مما يغير من الهيكل البلوري لشبه الموصل إذا كانت بلورية وزيادة الأواصر المتدلالية (Dangling Bonds) إذا كانت متعددة التبلور أو عشوائية مما يفسح المجال للجسيمات في اختراق المادة والقدان التدريجي لطاقته لحين وصولها إلى إزاحة الايقاف وهذا يعتمد على نوع شبه الموصل السليكون أو الجرمانيوم وقدرة إيقافه للجسيمة الداخلة وهذا يتوقف على معامل التراص لمادة شبه الموصل البلورية ، ويلاحظ ان أدنى مدى مؤثر لجسيمة بيتا كان عند تطعيم عنصري (الجرمانيوم أو السليكون) بالفسفور بسبب كون العدد الذري للعنصر المطعم هو (١٥) بحيث تحدث ترابطات بين ذرات السليكون يقلل من الفراغات والعيوب المتولدة جراء التطعيم.

شكل (٣-٢٨) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالفسفور

شكل (٣-٢٩) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالانتيمون

شكل (٣-٣٠) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في السليكون المطعم بالزرنيخ

شكل (٣-٣١) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالفسفور

شكل (٣-٣٢) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالانتيمون

شكل (٣-٣٣) يوضح العلاقة بين طاقة جسيمة بيتا مع المدى المؤثر في الجرمانيوم المطعم بالزرنيخ

فالزيادة في المديات المطعمة بالنسبة لأشعة بيتا اعتماداً على التراكيز الوزنية، تبين ان التطعيم بعنصر (الفسفور) هو أفضل أنواع التطعيم الخماسي يليه الزرنيخ ثم الانتيمون وبالاعتماد على الأعداد الذرية المؤثرة والكثافات المؤثرة، باستعمال النسبة الوزنية wt% (٠.٠٠٥) وهذه

النسبة تحقق اقل مدى اختراقية خلال المادة، والسبب يعود إلى ان العدد الذري للفسفور ( ١٥ ) مقارنةً مع الزرنيخ ( ٣٣ ) و الانتيمون ( ٥١ ) والارتباطات المتوافقة لذرات الفسفور وعند نسب التطعيم الواطئة %wt (٠.٠٠٥) مما يقلل العيوب نتيجة تأثير الإشعاع ، وكانت النتائج النظرية مطابقة للنتائج العملية من قبل Bierack عام (٢٠٠٤) [٧٢] و(٢٠٠١) Goulding ] [٦٨].

## Conclusions

## ٣-١٠: الاستنتاجات

من خلال العمل الحالي يمكن استنتاج الآتي :

١. إن قدرة الإيقاف تتناسب عكسياً مع طاقة جسيمات ألفا أو بيتا في كل من السليكون والجرمانيوم.
٢. إن مدى جسيمات ألفا أو بيتا في كل من السليكون والجرمانيوم يتناسب طردياً مع طاقتها، كذلك المدى المؤثر لجسيمات ألفا وبيتا في كل من السليكون والجرمانيوم المطعمة بعناصر المجموعة الثالثة والخامسة من الجدول الدوري يتناسب طردياً مع طاقتها.
٣. إن العلاقة بين طاقة الإزاحة لجسيمات بيتا في كل من السليكون والجرمانيوم وطاقة الجسيمات الساقطة هي علاقة طردية.
٤. إن مدى جسيمات بيتا في السليكون النقي أكثر من مداها في الجرمانيوم النقي وكذلك الحال بالنسبة لجسيمات ألفا فإن مداها في السليكون النقي أكثر من مداها في الجرمانيوم النقي.
٥. إن زيادة نسبة التطعيم للسليكون أو الجرمانيوم بعناصر المجموعة الثالثة والخامسة من الجدول الدوري تزيد من المدى المؤثر لجسيمات ألفا والمدى المؤثر لجسيمات بيتا.
٦. إن عنصر البورون هو أفضل عناصر المجموعة الثالثة وعنصر الفسفور هو أفضل عنصر من المجموعة الخامسة عند تطعيم السليكون أو الجرمانيوم إذ يكون مدى جسيمات ألفا ومدى جسيمات بيتا أقل ما يمكن في هذه الحالة.

## *Studies*

- ١- تأثير سرعة الجسيمة النووية على قدرة الإيقاف الخطية بالاعتماد على البرنامج الفرعي (ZRATIO)، واستعمال المعادلات النسبية في تقديرات المدى المؤثر.
- ٢- إيجاد المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) لجسيمات ألفا وبيتا في أشباه الموصلات النقية والمطعمة بعناصر المجموعة الثانية والسادسة من الجدول الدوري.
- ٣- دراسة شاملة لقدرة الإيقاف الالكترونية وقدرة الإيقاف النووية وعلاقتها بطاقة الجسيمات ألفا وبيتا.
- ٤- إيجاد المدى المؤثر ( $R_{eff}$ ) للنيوترون في أشباه الموصلات النقية والمطعمة بعناصر المجموعة الثالثة والخامسة من الجدول الدوري.

## References

١. A .C. Churchitt, , "Semiconductors", John Wiley and Sons, New York, (١٩٩٧).
٢. J.M. Pearson, "Nuclear Physics", Ed.by E.Luscber, (١٩٨٦).
٣. F. Herbert, "Electronic Defects in Semiconductors", Wiley Interscience, New York, (١٩٧١).
٤. S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices". ٢<sup>nd</sup>. John Wiley & Sons, New York, (١٩٨١).
٥. C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", ٥<sup>th</sup>. John Wiley and Sons, Inc., (١٩٧٦).
٦. P.J. Browns and J.B. Forsyth. "The Crystal Structure of the Solids". London Edward Arnold, (١٩٧٣).
٧. A.K. Jonscher and R.M. Hill. "Physical of Thin Films", Vol. ٨ (١٩٧٥), pp: ١٧٠-٢١٠.
٨. غزالة هرمز، " تأثير x حيث  $x \leq 0.3$  على التوصيلية، تأثير هول التحركية فجوة الطاقة لأغشية المنظومة  $Ge_{1-x}Si_x$  ، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بغداد، (١٩٩٢).
٩. K.S. Trautmann and R. Neumann, "Electronic Excitations and Heavy-Ion". Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. (٢٠٠٣).
١٠. T. Furuta, "Semiconductor and semimetals", Ed. by R.K. Willardson and AC. Beer (Academic Press, New York), p. ١٥١. Vol. ٣٩ (١٩٩٣).
١١. محمد حبيب بركات، "أسس الفيزياء الإلكترونية"، دار الفكر للطباعة والنشر والتوزيع، جامعة بغداد، (٢٠٠٢).

١٢. R.B. Heslop and K. Jones, "Inorganic chemistry a guide to advance study", Amsterdam, (١٩٧٦).
١٣. I. Baixeras, Phys. Rev. ٣٧, pp: ٤٠٣-٤٠٧, (١٩٧٨).
١٤. W.R. Runyan, "Silicon Semiconductor Technology", Mc Grow-Hill, New York, (١٩٦٥).
١٥. K.V. Ravi, "Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon", Solar Energy Corporation Wolthman, Massachusetts, New York, (١٩٨١).
١٦. R.A. Smith, "Semiconductors", ٢<sup>nd</sup>. Ed. Cambridge University Press, (١٩٧٨).
١٧. F.F.Y. Wang, "Impurity doping processes in silicon", North-Holl and Publishing Componay, Vol. ٢, (١٩٨١).
١٨. G. Carton and W.A. Grant, "Ion Implantation of Semiconductors" IBM Press Roman, (١٩٧٦).
١٩. C. Hilsum and A.C., Ros\_Innes, "Semiconductivity III-V Compounds" Pergman Press Ltd, Vol. ١, (١٩٦١).
٢٠. N.D. Thai, J. Appli. Phys. ٤١: ٢٨٥٩, (١٩٧٠).
٢١. J.H. Collet, Phys. Rev. B ٤٧, ١٠٢٧٩, (١٩٩٣).
٢٢. M.H. Al-Maamory, "Electrical and optical properties of pure spray pyrolysis for solar application", MSc thesis, University of Basrah, (١٩٩٠).
٢٣. T. Kuhn and F. Rossi, Phys. Rev. B ٤٦, ٧٤٩٦, (١٩٩٢).
٢٤. M.A. Omar, "Elementary Solid State Physics Principle Application". Addison Weily Publishing Company, Inc. (١٩٧٥).
٢٥. G.R. Lynch and O.I Dahi, Nucl. Instrum. Methods B ٥٨, ٦ (١٩٩١).

٢٦. M.M. Al- Ias, "Optoelectronic Electronic Study Si-Ge-Al (A): H Thin films", Ph.D. Thesis, College of Science University of Baghdad, Dep. of Physics, (١٩٩٨).
٢٧. G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", ٢<sup>nd</sup>. John Wiley and Sons, New York, (١٩٨٩).
٢٨. E.S. Harmon, Appl. Phys. Lett. ٦٣, ٥٣٦, (١٩٩٣).
٢٩. G.C. Messenger and M.S. Ash, "The effects of radiation on electronic systems", ٢<sup>nd</sup>. Ed. Van Nostrand Reinhold, NY, (١٩٩٢).
٣٠. R.A. Knief, "Nuclear Energy Technology", Mc Graw-Hill, p. ٧٢, (١٩٨١).
٣١. K. Hikasa, "Review of particle properties", Phy. Rev. D ٤٦. SI. (١٩٩٢).
٣٢. N.V. Mokhor, J. Soviet, "Particles and Nuclei", ١٨(٥), ٤٠٨-٤٢٦, (١٩٨٧).
٣٣. J. Peltola, "Stopping Power for Ions and Clusters in Crystalline Solid", University of Helsinki, (٢٠٠٣).
٣٤. P. Anthony, Phys. Ev. Lett. ٧٥, (١٩٩٥).
٣٥. Y.M. Andreev, Phys. Atom. Nucl. ٥٧, ٢٠٦٦, (١٩٩٤).
٣٦. P. Sigmund, "Stopping Power in Perspective", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. P ١٣٥ (١٩٩٨).
٣٧. D.E. Groom and S.R. Klein, "Passage of Particles Through Matter", Nucl. Instr. Meth Phys. Rev P ٣١٩, (١٩٩٩).
٣٨. S. Klein, Rev. Mod. Phys. ٧١, ١٥٠١ (١٩٩٩).
٣٩. T. Lewis Chadderton, "Radiation Damage in Crystals", General Ed. B.L. Worsap Ph.D, (١٩٦٥).

- ξϣ. Sixth international confi., in cooperation with seventh European congress on E.M. Foundation, Urban, K. (Radiation Damage in inorganic Materials in the electron microscope), Vol. ξ, (1980).
- ξϔ. G. Dearnaley and D.C., Northrop. "Semiconductor Counters for Nuclear Radiations" 2<sup>nd</sup>. Ed. London, (1966).
- ξϕ. Inst. Phys. Conf. ser. No. 31. "Radiation Effects on Semiconductor", of Urli, N.B. and Corbett, J.W. Bristol and London Mashovet T.V.", Point Defects in Germanium, (1976).
- ξϑ. K.E. Holbert, "Radiation Effect Damage", London, (1994).
- ξϘ. J.R. Lowney and H.S. Bennet, J. Appl. Phys. 69, 7102, (1991).
- ξϙ. T. Elsasser, "Radiation Protection Fundamentals", Phys. Rev. Lett. 66, 1822 (2001).
- ξϚ. H. Bradner, "Range-Energy Relation for Protons in Nuclear Emulsions", radiation laboratory, University California, (1950).
- ξϛ. Z.H. Heller, "The Stopping Power of Metals and Semiconductors", Purdue University, (1951).
- ξϜ. G.W. Gobeli, "Range-Energy relation for low-energy alpha particles in Si, Ge", Department of physics, Purdue University, Lafayette, Indiana, (1956).
- ξϝ. A. Garin and H. Faragg", Alpha Particles Range in Uranium, gold, zircon in silicon", J. Phys. (Orsa. Fr.), Vol: 19 (1958).
- ϙϖ. G. Mackintosh, "Stopping Power of The Acceleration Helium Ions in Silicon, Phys. Stat. Solidi 119-208. (1971).
- ϙϗ. Euler, "Electron Radiation Damage in Semiconductors and Metals", New York and London, (1972).

๐๒. G. Grahmanu and S. Kalbitzer, "Nuclear and Electronic Stopping Powers of Low Energy Ions with  $Z \leq 10$  in Silicon, "Nucl Inst. Methods, 132, 119-23. (1976).
๐๓. Ist. Phys. Conf. ser. No. ๕๓(1979), chapt. 9 "Phys. of Semiconductors", 1978, B.L.H. Wilson.
๐๔. E. Rosendable and J Wmonkdiek, "Measurement of The Energy Loss of Non-Channeled Alpha-Particles in Transmission and in Terpretation with The Aid of an Average Continuum Potential", Z. phyzik A, 280, 33-36. (1978).
๐๕. K.E. Holbert, "Charged Particles Ranges of Silicon and Germanium", (1980).
๐๖. H. Oetzmann and S. Kalbitzere, He<sup>๕</sup>-Stopping Power Measurements by Using Ion Implantation and Scattering Techniques", Rad. Effects, ๕7, 73. (1980).
๐๗. R. Ahlen, "Theoretical and Experimental Aspects of The Energy Loss of Relativistic Heavily Ionizing Particles. Rev. Mod. Phys., vol. ๐๕, no. 1, Jan, pp. 121-173, (1980).
๐๘. E. Kuhrt, "Measurement of The Stopping Power of ๕๐ to ๓๐๐ keV Protons in Silicon". Phys. Stat. solidi (a) 66, 131-133, (1980).
๐๙. Sontry, "Stopping Power of (C, Al, Si, Ni, Ag) Using Radioactive Apha Sources", Nucl. Inst. Methods, B1, 13 (1984).
๖๐. G. Zigler, "The Stopping Power of Ions in Matter", Pergamon Pres, New York (1980).
๖1. Narrumi, "Energy Loss of 12-32 keV H, He and NIONS of Glancing Angle Scattering from Clean Surface of Silicon Crystals", J. Phys. Soc. Jap., 62, 1903-1611 (1993).

٦٢. Dossantos, "Electronic Stopping Power of  $\langle 100 \rangle$  Axial Channeled He Ions in Si Crystals", Nucl. Inst. Methods, B106, 51-54, (1995).
٦٣. فيصل البصام، "تأثير دقائق ألفا وبيتا في أغشية الجرمانيوم النقية والمطعمة"، أطروحة دكتوراه، قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة بغداد، (1996).
٦٤. Niemann, "Stopping Power Of (He,H) in Silicon to Energetic Range(0.02-1.0 MeV/amu)", Nucl. Instr. Meth. Phys.(1996).
٦٥. Oliver, "Alpha Range in Air", Nucl. Inst. Methods, (2000).
٦٦. R. Hubert, "Germanium with Boron of Dopant in The Alpha Particle", Nucl. Inst. Methods, B17, 409-413(2000).
٦٧. J. Stoll, "Effective Range of Silicon Doped Arsenic in The Beta Particle". Nucl. Inst. Methods, 119, 325-330, (2000).
٦٨. F. Goulding, "Effective Range of Silicon Doped Boron in The Beta Particle", Rad. Effects, 104, 1-42. (2001).
٦٩. G. Zigler, "Stopping power and range in the changed particle (proton)", Phys. Rev. 1383, 64101 (2001).
٧٠. Nikezic, "Compression Among Alpha-Particle Energy Losses in Air Obtained from Data of SRTM, ICUR and Experiments", Department of Physics and Materials Science, City University of Hong Kong, (2003).
٧١. M. Lang, "Range and Stopping of 47.6 GeV Uranium Ions in Natural Diamond", Phys. Rev. A 65, 52709, (2003).
٧٢. Biersack, "Effective Ranges in Germanium Doped Bismuth and Aluminum", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B180, 203 (2004).
٧٣. J.F. Ziegler, "The Stopping of Energetic Light Ions in Element Matter", Purdue University, pp: 1249-1272, (1999).

٧٤. T.L. Ferrel and R.H. Ritchie, "Energy Losses by Slow Ions and Atoms to Electronic Excitation in Solids", *Phy. Rev. B* ١٦, ١١٥, (١٩٧٧).
٧٥. M. Stafgo, "Interaction of Changed and Heavy Particles with Matter", *Med. Phys. B* ٢٧٧, ٣٩١, (٢٠٠٣).
٧٦. H. Tai, "Comparison of Stopping Power and Range for Radiation Transport Study", *Appl. Phys. Lett* ٢٥١, ٧٩١, (١٩٩٧).
٧٧. K.S. Arnd and R. Neumann, "Electronic Excitations and Heavy-Ion". *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* ٢٠٩, ٢٣, (٢٠٠٣).
٧٨. <http://www.pag.ibi.gov/>, November ١٩, (٢٠٠١).
٧٩. K. Fysik, "The Atomic Nucleus", *Phy. Rev. B* ٩٢, ٦١١٢, (٢٠٠٣).
٨٠. L.B. Bezrukov, "Stopping Power and Range Tables for Alpha Particles", *J. Appl. Phys.* ٥٩, ١٦٦, (٢٠٠٣).
٨١. M. Wong, *Med. Phys.* ١٧, ١٦٣, (١٩٩٠).
٨٢. H. Cember, "Introduction to Health Physics", ٣<sup>rd</sup> Ed. Mc Graw-Hill, p ١٣٢. (١٩٩٦).
٨٣. S.M. Settzer and M.J. Berger, *Int. J. of Applied Rad.* ٣٣, ١١٨٩ (١٩٨٢).
٨٤. T. Nicholas, "Measurement and Detection of Radiation", University of Missouri-Rolla, (١٩٨٣).
٨٥. U. Fano, *Chr., Studies in Penetration of Charged Particles in Matter*, *Nucl. Sci. Rpt.* ٣٩, U.S. National Academy of Science, Washington, ١-٣٣٨, (١٩٦٤).
٨٦. F.S. Goulding and R.H. Pehl, "Semiconductors Detectors", Academic Press (١٩٧٤).

⁸⁷.Inst. Phys. Conf. Ser. No. ⁷⁶, "Radiation Damage and Defect in Semiconductors", Ed. by London and Bristol, (¹⁹⁷⁷).

⁸⁸.Inst. Phys. Conf. Ser. No. ⁹⁶ in "Defects and Radiation Effects in Semiconductors", Ed. by J.H. Albang Bristol, London Held in nice, ¹¹-¹⁹ Sep. (¹⁹⁷⁸).

⁸⁹.J.N Chapman, ⁷. "Phys and Materials" Proceeding of The ⁹<sup>th</sup> European Congress on Electron Microscopy Held in New York and England, Ed. by P.J. Good new and H.G. Dickinson, EUREM ⁸⁸ Vol. ⁹-⁹ Sep. (¹⁹⁸⁸).