



دراسة منحنى الاستنبات ومعدل عمق التوقف للبوزترونات e^+ البطيئة في

كبريتيد المغنيسيوم MgS

¹صباح محمود امان الله ²صباح جلال فتحي ¹سيف عامر مهدي

قسم الفيزياء-كلية العلوم –جامعة تكريت –صالح الدين- العراق .ص.ب: 42

قسم الفيزياء-كلية العلوم –جامعة كركوك –العراق

dr.sabah.ph.sc@tu.edu.com Saifamear76@yahoo.com

1-المخلص

يقدم هذا البحث القيم النظرية لمنحنى الاستنبات $I(z,E)$ ومعدل عمق التوقف للبوزترونات z_0 البطيئة بطاقة (1.5-30) كيلو إلكترون فولت لمركب كبريتيد المغنيسيوم MgS ولا سماك مختلفة (0.2-، 1.6) مايكرومتر باستخدام دالة توزيع مايكوف. اظهرت النتائج المتحصلة ، ان حجم منحنى الاستنبات يعكس طيف طاقة البوزترونات الساقطة اذ ان معدل اعماق التوقف تكون قليلة جدا للطاقات الواطنة و ذلك بسبب وجود احتمالية كبيرة لحصول الارتداد الخلفي backscattering للبوزترونات الساقطة عند سطح المادة وبالنتيجة يكون عملية فناء محدودة تتمثل بالقيم العالية لمنحنى الاستنبات ، واما بالنسبة لطاقات البوزترونات الاعلى نلاحظ تناقص قيم $I(E,z)$ ، هذا السلوك ناتج من الاستطارة المتعددة multiple scattering المرنة والغير المرنة اثناء عملية التباطى داخل المادة . الدراسة الحالية تنسجم مع دراسات سابقة لعناصر ومركبات اخرى.

الكلمات المفتاحية

افناء، استنبات البوزترون، الاتزان الحراري، دالة توزيع مايكوف، معدل عمق التوقف، عيوب البلورية .



2- المقدمة

ان استطارة الكترون والبوزترون وفقدانها للطاقة في المادة ذات اهمية كبيرة بمختلف المجالات البحثية مثل دراسات السطوح والمواد الصلبة وكذلك استخدام الكترون-البوزترون واطئة الطاقة في تقنية المجهر الالكتروني والتشخيص والعلاج الطبي [1]. ان منحني الاستنبات او منحني التوقف stopping profile يمثل التوزيع المكاني لبوزترونات positron spatial distribution بعد حصول ظاهرة الاتزان الحراري Thermalization مع البيئة المحيطة بالبوزترون ضمن مادة الهدف وينتج هذا المنحني من حقن بوزترونات واطئة الطاقة الى الطبقة التي تقع بعد سطح المادة [2]. فبعد حصول الاتزان الحراري داخل المادة يفنى البوزترون مع الكترون منتج بذلك فوتونين بطاقة 511keV و معدل افناء الزوج الكترون-بوزترون يعتمد على مدى تداخل السحب الكترونية-البوزترونية electron-positron clouds فكما زادت الكثافة الالكترونية (تزايد السحب الالكترونية) حول البوزترونات في الموضع الذي يحصل فيه عملية الفناء ، ادى ذلك الى تناقص العمر الزمني lifetime للبوزترون [3]. ان منحني اجتذب اهتمام الباحثين نظريا وعمليا اذ انه يفسر البيانات الناتجة من طيف البوزترونات البطيئة والمستخدم في دراسة العيوب البلورية واما عمق الاختراق فهو عامل مهم لقياس اعمار lifetime البوزترونات في اشباه الموصلات والمعادن . ان العديد من معاملات الافناء مثل الطاقة – زمن الانبعاث – زاوية انبعاث – الفوتونات المنبعثة تزودنا بمعلومات عن المادة التي حصل فيها ظاهرة الافناء و ان عملية احتجاز trapping البوزترون داخل العيوب البلورية يسبب الكثير من التغيرات في خواص البوزترونات المراد قياسها مثل عمر البوزترون والترابط الزاوي angular distribution لفوتونات الافناء والشكل (1) يمثل سلوك البوزترون وطرق التفاعل مع دخول المادة [4-5].



Investigation of the Implantation profile and average stopping depth of slow positrons e^+ in Magnesium Sulfide MgS

Saif Amear Mahdyi¹ ²Sabah jalal fatahy Sabah Mahmoud Aman Allah¹

¹Physics Department, College of Sciences –Tikrit University, P.Box.O:42, -Salah din -Iraq.

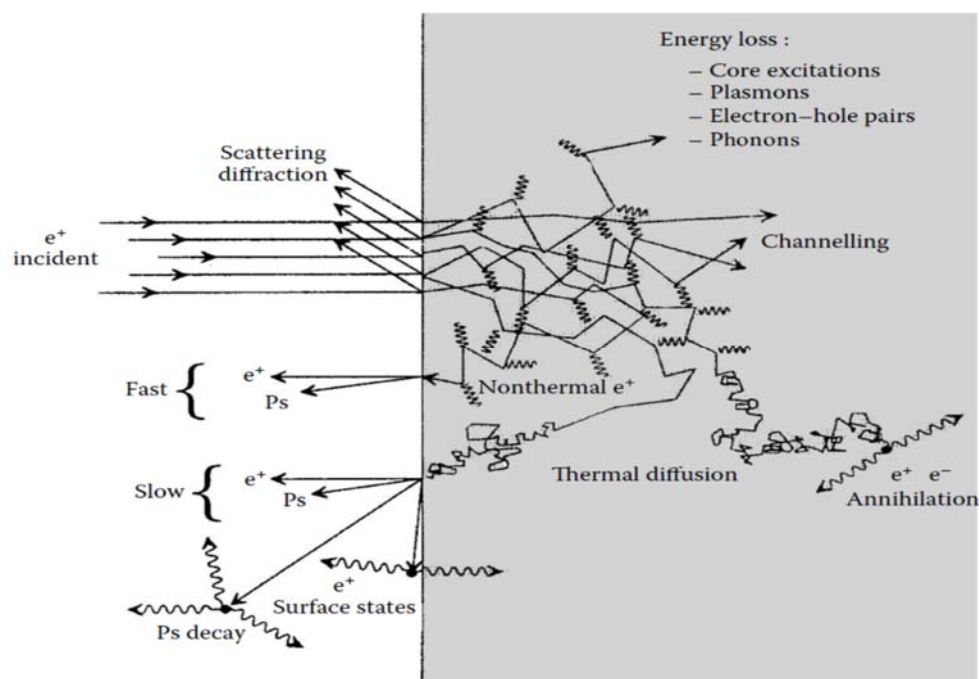
²Physics Department, College of Sciences –kirkuk University-Iraq

Saifamear76@yahoo.com dr.sabah.ph.sc@tu.edu.com

Abstract:

In this paper ,we present for the first time , the theoretical values of Implantation profile $I(z,E)$ and average stopping depths z_0 of slow positron (1.5-30)keV for Magnesium sulfide MgS and different thicknesses(0.2-1.6) μm by employing a Makhovs distribution function has been investigated . The obtained results reveals that the shape of the Makhov's profile indicates to the energy spectrum of the incident positrons ,the average stopping depth are small for low energies , this due to the probability of backscattering positrons at the surface of material and thus the result is a narrow annihilation region which represented by the high values of $I(E,z)$, this behavior is due to the multiple scattering elastic and inelastic during the slowdown process inside material , the average stopping depths increased .The present study in accordance with the results of that for other works of elements and compounds.

Keywords: Annihilation , average stopping depth, crystal defect , Makhov distribution function, implantation profile , Thermalization.



شكل (1) تفاعلات البوزترون داخل المادة الصلبة ، في هذا المخطط Ps يمثل ذرة البوزترونيوم positronium ، e^+ و e^- هما بوزترون والكترون على التوالي [5] .

منحني الاستنبات البوزتروني متعدد الطاقات تم التحقق منه قبل [6] W.Brand and R Paulin حيث استخدم البوزترون للحصول على عمق المنحني للعيوب البلورية والقريبة من السطح واجراء تحليل السطوح البينية interfaces للاغشية الرقيقة والانظمة متعددة الطبقات واقتراح كل من [8-7] طريقة جديدة لدراسة منحني استنبات البوزترونات من خلال التعبير عن نسبة البوزترونات المارة خلال شريحة نحيفة جدا بطريقة التكامل للزاوية الصلبة وقام [9,2] بدراسة منحني الاستنبات باستخدام عنصرى الماس والجرمانيوم، اضافة الى ما ذكر العديد من الدراسات ولمختلف العناصر



ضمن المراجع [10,11,12,13]. ان الهدف من الدراسة الحالية هو حساب منحنى الاستنبات ومنها ايجاد معدل عمق التوقف للبوزترونات البطيئة (واطئة الطاقة) في كبريتيد المغنيسيوم MgS باستخدام دالة توزيع مايكوف ولأسماء مختلفة .

3-الحسابات النظرية

ان عدد البوزترونات التي يتم ايقافها عند سطح الشريحة والتي سمكها z تعطى بالمعادلة التجريبية الاتية [6].

$$P(\alpha, E) = 1 - \alpha e^{-\alpha z} \dots\dots\dots(1)$$

حيث ان α هو معامل امتصاص البوزترون والذي يعرف بوجب المعادلة الاتية [2]

$$\alpha(\text{cm}^{-1}) = 17 \frac{\rho}{E_{\text{max}}^{1.43}} \dots\dots\dots(2)$$

حيث ρ (g/cm^3) يمثل الكثافة لكبريتيد المغنيسيوم وان E_{max} (MeV) هي طاقة البوزترون الساقط ولحساب منحنى استنبات البوزترون ، باستخدام مشتقة دالة توزيع مايكوف Makhovs distribution function يخضع للعلاقة الاتية [14]:

$$I(z, E) = -\frac{d}{dz}[P(\alpha, E)] = -\frac{d}{dz}[e^{-(z/z_0)^m}] = \frac{mz^{m-1}}{z_0^m} e^{-(z/z_0)^m} \dots\dots\dots(3)$$

واما الدالة z فهي ترتبط بعمق الاختراق z_0 بموجب العلاقة [14]

$$z_0 = \frac{\bar{z}}{\Gamma(1 + 1/m)} \dots\dots\dots(4)$$

حيث ان Γ هي دالة كما Gamma function ، وبعد تعويض قيمة دالة كما في المعادلة 4 ، تصبح [15].

$$\bar{z} = 0.886 z_0 \dots\dots\dots(5)$$



وبما ان تعطى بالعلاقة Z

$$Z = \frac{AE^n}{\rho} \dots\dots\dots(6)$$

حيث ان كل من A و n هي ثوابت تجريبية . والقيم الاكثر استخداما لهذه المعاملات والتي تصف سلوك المادة [14]

$$A = 4 \mu g . keV^{-n} . cm^{-2} .$$

$$m = 2 \dots\dots\dots(7)$$

$$n = 1.6$$

وبعد تعويض قيم المعادلة 7 في معادلة 6 والناتج في المعادلة 5 نحصل على معدل عمق الاختراق

$$z_0 (\mu m) = 1.5786 E^{1.6} (\mu m / keV^{1.6}) \dots\dots\dots(8)$$

ρ يمثل كثافة مركب كبريتيد المغنيسيوم والجدول الاتي يمثل بعض الخواص الفيزيائية لمركب كبريتيد المغنيسيوم .

جدول رقم (1) يمثل بعض الخواص لمركب كبريتيد المغنيسيوم [16-17].

الخاصية الفيزيائية	القيمة
ثابت الشبكة	0.5203nm
النظام البلوري	مكعب
الكثافة	2.86g/cm ³
فجوة الطاقة	4.5eV
الوزن الجزيئي	56.38g/mol.
درجة الانصهار	2000 ⁰ C



4- النتائج والمناقشة

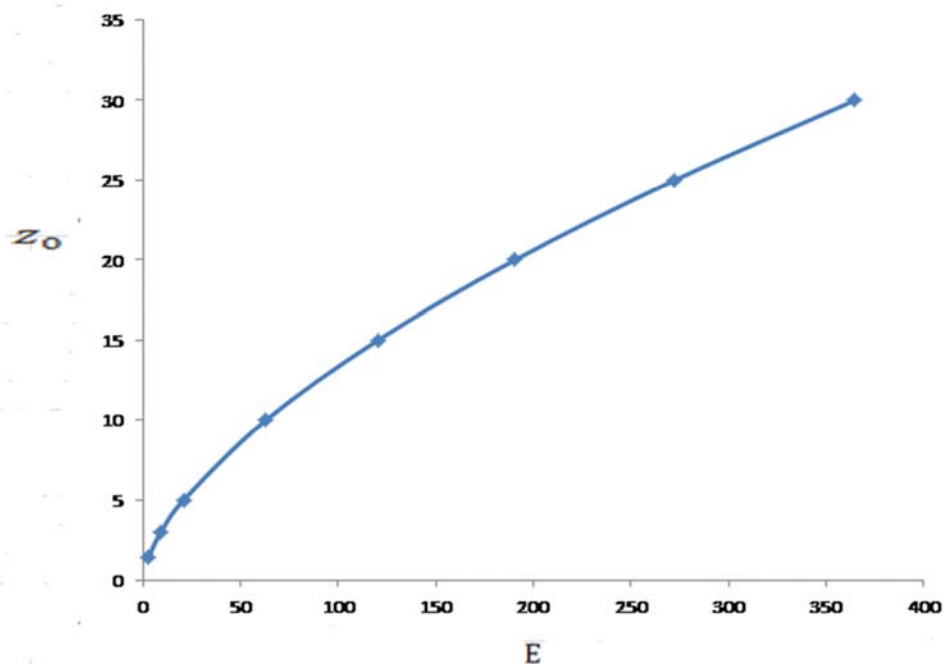
تعتبر عملية انتقال البوزترون داخل المادة عملية معقدة وبشكل عام تحدث تفاعلات البوزترون المستتبنة داخل المادة الصلبة الى ثلاثة مراحل : الاستتبات ،الاتزان الحراري والانتشار diffusion الذي ينتهي بالإفناء مع الكثرونات .حيث لا توجد أي حدود فاصلة بين المراحل الثلاثة المذكورة ،و تعتبر عمليتي الاتزان الحراري والانتشار ذات تأثير قليل على قيم منحني الاستتبات ،ذلك لا نه اثناء هذه العمليتين ،يتحرك البوزترون معدل مسافة تقدر ب 1 مايكرومتر [18] ومع ذلك فان معظم عمر البوزترون (10^{-12} - 10^{-7} ثانية) [19] يستنفذ في الانتشار (او ما يعرف بالانتقال العشوائي random Walk عبر الفراغات الذرية البينية ،حيث بفعل قوة التنافر الكولومي strong Coulomb repulsion للأيونات الموجبة في داخل المركب كبريتيد المغنيسيوم ،فان الدالة الموجية تتركز في الفراغات الذرية البينية وتتغير الدالة الموجية للبوزترون بشكل كبير بالمناطق القريبة في الشبكة البلورية حيث توجد فجوة gap في دوريتها periodicity ،فعلى سبيل المثال بسبب وجود الفجوات vacancy في الشبكة (ذرة مفقودة) ،يمكن بسهولة توليد المزيد من العيوب المعقدة complex defects فاذا ازيلت ذرة في الشبكة الدورية البلورية ،فان الجهد الكهروستاتيكي الموضوعي سوف تتغير والكثافة الكترونية الموضوعية سوف تتناقص . اما بالنسبة للكترونات الغير متمركزة delocalized electrons والمتواجدة في الفراغات الشبكية تنشئ شحنة موجبة في هذه المنطقة ،وهذا يعني ان تكوين الجهد الجاذبي للبوزترون ،هذا الجهد يكون من القوة بمكان ان يحدث حالة مقيدة للبوزترون positron bound state (حالة ممركة localized state) في المواضع الفراغية في الشبكة البلورية .ان عملية انتقال البوزترون الى الحالة الممركة يشار اليها باسم المصيدة او الحجز trap وهذه العيوب تعرف باسم مراكز احتجاز البوزترون [5] .في الحقيقة ان طبيعة مراكز احتجاز البوزترون في المواد شبه الموصلة مثلا MgS يكون اكثر تعقيدا بالمقارنة مع المعادن ،وهذا بسبب رئيسي ناتج من حقيقة ان البوزترون كشحنة موجبة ليكون حساسا للحالات المشحونة في العيوب البلورية [20] عادة تكون العيوب في اشباه الموصلات والمعادن من نوع الحجم المفتوح open volume type مثل الفراغات vacancies ،شوائب معقدة complex impurity ،الانخلاعات dislocations ،حدود الحبيبية grain boundaries ،التجاويف cavities ،سطوح بينية interfaces وحتى الرواسب precipitates يمكنها ان تحدث جهود تجاذبيه وبهذا يتكون مراكز احتجاز



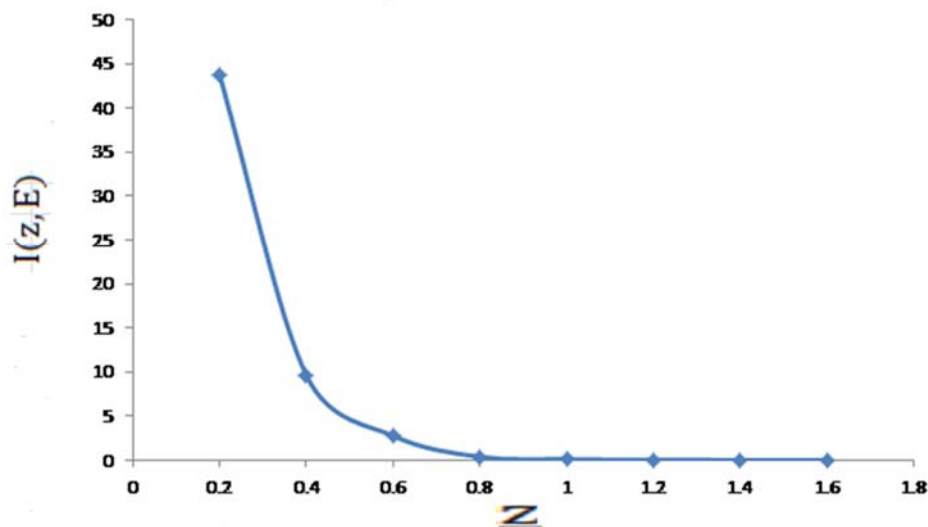
للبوزترون .ان معدل الاحتجاز ودرجة التمرکز للبوزترونات تعتمد بشكل كبير على نوع العيب البلوري وعلى خواصه الفيزيائية .من ملاحظة الشكل (2) والجدول رقم (2) عند مدى الطاقة (1.5-4) كيلو الكترون فولت فان معدل اعماق التوقف في كبريتيد المغنيسيوم تكون قليلة جدا ويمكن تفسير ذلك بسبب وجود احتمالية كبيرة بالارتداد الخلفي للبوزترونات backscattering الساقطة مما ينجم عنه تناقص الكثافة الالكترونية عند سطح المادة وبالتالي يكون منطقة افناء annihilation ضيقة تتمثل بالقيم الكبيرة لمنحني الاستنبات (لاحظ شكل 3) ، حيث انه بزيادة طاقات البوزترونات الساقطة على شبه الموصل كبريتيد المغنيسيوم نلاحظ تناقص قيم $I(E,z)$ وخصوصا لقيم z لمدى (1600-700) مايكرومتر هذا السلوك يمكن تفسيره على انه ناتج من الاستطارة المتعددة multiple scattering المرنة elastic والغير المرنة inelastic اثناء عملية التباطؤ slow down process ، داخل المركب . لحد علم الباحثين ،لم نجد دراسات علمية سابقة نظرية او عملية خاصة بمنحني الاستنبات ومعدل عمق الايقاف للبوزترونات في مركب نتريد البورون لغرض اجراء المقارنة ضمن قيم الطاقة والاسماك المدروسة في البحث الحالي آلا انه ومع ذلك فأنا عندما نقارن دراستنا الحالية مع دراسات سابقة [2, 3, 18] , نلاحظ نفس السلوك لدالة مايكوف والانسجام لنتائجنا الحالية مع البحوث المذكورة اعلاه واما معدل اعماق التوقف (الاختراق) للبوزترونات المستنبطة داخل شبه الموصل ،فان نتائجنا الحالية في انسجام جيد مع نتائج الدراسات السابقة لعناصر [9, 21, 22].

5-الاستنتاجات

- في ضوء الدراسة الحالية يمكن ايجاز الاستنتاجات التي تم التوصل اليها:
- أ-تناسب طاقة البوزترون الساقط طرديا مع عمق الاختراق وعكسيا مع منحني الاستنبات في مركب كبريتيد المغنيسيوم .
 - ب- احتجاز البوزترون في العيب البلوري، يعني ان الدوال الموجية لهذه البوزترونات ضمن ذلك العيب البلوري حتى يتم افناها في الشبكة .
 - ج- معاملات فناء البوزترون مثل الطاقة – زمن الانبعاث –زاوية انبعاث تكون حساسة لعيوب الشبكة البلورية .



شكل(2) معدل عمق التوقف كدالة لطاقة للبوزترونات الساقطة بوحدة كيلو إلكترون فولت .



شكل (3) القيم النظرية لمنحني استنابات $I(z,E)$ البوزترونات كدالة لعمق z .



6-المصادر

- [1]Asuman Aydin , 2001.Monte Carlo calculations of positron implantation profile and backscattering probabilities in gold.p.p87-90, Nukleonika, 46(3):
- [2] Sabah Mahmuoud Aman Allah Luma saad Abdual Baqi Najat Ahmad Daham Saif Amear Mahdyi(2015)(Implantation profile for low energy positrons in diamond.p.p.105-111,Al-Qadasia Journal for scienceVol.20, No.4
- [3] O.M.Osiele ,2006 .Depth profiling of Aluminium metal using slow positron beam. p.p19-23 , Nigerian Journal of physics 18(1)
- [4]Emilio Serger.1977. Nuclei and particle-an introduction to nuclear and sunnuclear phsics)Ch.2,p.p 74-78,W.A. Benjamin ,Inc, Massachusetts, UK.
- [5] J.J.Pedroso de Lima, 2011.Nuclear Medicine physics .Ch.3p.69-94 ,Taylor and Francis Group, LLC Taylor & Francis is an Informal Business, USA.
- [6] W.Brand and R Paulin,1977. positron implantation–profile effects in solids p.2511, Phy .Rev. B15,North Holland .
- [7] K. Plotkowski, T.J. Panek, J. Kansy, 1994, p.p. 2643 J. Phys., Condens. Matter 6 .
- [8] N. DJOURELOV AND M. MISHEVA, 1996.SOURCE CORRECTION IN POSITRON ANNIHILATION LIFETIME SPECTROSCOPY. P.P.2081, J. PHYS.: CONDENS. MATTER, 8.
- [9]Sabah Mahmuoud Aman Allah .2015.Verification Makhov,s profile for slow positron in Germanium.p.p.83-86, *Tikrit Journal of Pure Science* 20 (4).



- [10] H.L.MansourW.A. Jabbar.2015. Determination of Positrons Implantation Profile, Flux of Positrons and Fraction of Positrons Absorbed in Polystyrene-(Anthraquinone Copolymer)p.p324-328, 21th Scientific conference of college of education , Al-Mustansaryia University , Baghdad, Iraq.
- [11] J. Dryzek and E. Dryzek, (2006). *Positron Implantation Profile in Kapton*. p.p.577 Acta Physics Polonica A, **110**.
- [12] K. Siemek and J. Dryzek, Acta Physica Polonica A. 2014. (The computer code for calculation of the positron distribution in a layered stack system. P.p833-836, Vol.125, No. 3.
- [13] Paweł Horodek, and Jerzy Dryzek .2010. GEANT4 simulation of implantation profiles for positrons injected in solids from radioactive sources ^{22}Na and $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, p.p.17–19, NUKLEONIKA;55(1).
- [14] S.Valkealahti and R.M. Nieminen.1983.Monte-Carlo Calculations of keV Electron and Positron Slowing Down in Solids. p.p. 95-106.Appl.Phys. A 32,.
- [15] A.F. Mahkov.1961. The Penetration of electrons into solids. p.p.1934-1945 , Sov. Phys. Solid State 2.
- [16]W. Martienssen and H. Warlimont .2005. Springer Handbook of Condensed Matter and Materials Data, p.p. 576-600, part 4, ,Spinger Berlin Heidelberg ,Germany .
- [17] Karl Heinz Büchel, Hans-Heinrich Moretto, Dietmar Werner, 2000.Industrial Inorganic Chemistry-2d edition, John Wiley & Sons, ISBN 978-3-527-61333-5
- [18]J.Dryzek and Duga singleton.2006.implantation profile and linear absorption coefficients for positrons injected in solids from radioactive sources ^{22}Na and



$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$. p.p.197-204 nuclear instrument and methods in physics research B252, Elsevier, USA .

[19] A. Vertes , Sandor Nagy , Zoltan Klencsar , Rezso G. Iovas , Frank Rosch. 2011. Handbook nuclear chemistry-second editions, ch.27, p.1462-1466, Springer, New York , USA.

[20] R. Krause , Rehberg and H.S. Leipner. 1999. positron annihilation in semiconductors. Ch.2 , p.40-44, Springer, Germany .

[21] Baker J.A., Chilton N.B., Jensen K.O., Walker A.B. and Coleman P.G. 1999. Median penetration depths and implantation profile for low energy in Al J. phys. condens .Matter 3 , p.4109.

[22] S. Valkealahti and R.M. Nieminen. 1984. Monte-Carlo Calculations of keV Electron and Positron Slowing Down in Solids, p.51, II Appl. Phys. A 35,.