----- مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 1 خاص بالفيزياء، ص12 -20، 2005 -----

دراسة تأثير أشعة كاما على الخصائص الكهربائية لنماذج MOS

محمد سلطان إسماعيل **ميعاد سالم يونس** **نوفل يوسف جميل**

قسم الفيزياء – كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2003/10/25 ، تاريخ القبول 2004/5/3)

الملخص

نماذج MOS المحضرة بطريقة التأكسد الأنودي ذات ثلاثة أقطاب بعيارية 0.1 لحامض HCl والتي تعمل للحصول على سمك منتظم لطبقة SiO_2 وبأسماك صغيرة لطبقة الأوكسيد حيث كان A^o 45 و A^o 80 تم دراسة تأثير أشعة كاما على عمل نماذج MOS حيث أجريت قياسات I-V و C-V قبل وبعد التشعيع. وأظهرت النتائج انخفاض في سعة النماذج وزيادة قيمة التوصيلية الكهربائية مما أعطى مؤشر لانخفاض حاجز الجهد في الطبقة البينية للنماذج. وكذلك أجريت قياسات القدرة كخلايا شمسية وكانت نتيجة التشعيع تدل على انخفاض في قيمة القدرة الخارجة من النماذج.

The Effect of γ – Radiation on the Electrical Properties of MOS Devices

Mohammed S. Ismail **Meaad Salem** **Nawfel Y. Jamil**

Department of Physics
College of Science
Mosul University

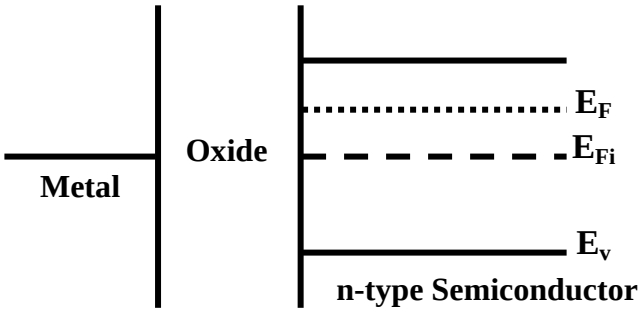
ABSTRACT

Samples of MOS devices which were prepared by anodic oxidation method in which three electrodes used with HCl of 0.1 M. The thicknesses of SiO_2 film were between 45& $80A^o$. The effect of γ-ray on the characteristic of these devices studied through the measurements of I-V and C-V before and after irradiation. The results point to that the capacitance decreased after irradiation and an increase in the conductivity observed which indicates a decrease of potential barriers of these devices. The measurement of I-V for these samples as solar cell showed a decrease in the output power.

المقدمة

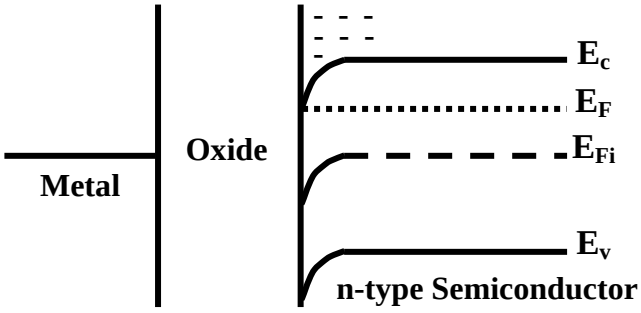
ثنائي MOS له أهمية كبيرة في فيزياء نبائط اشباه الموصلات والسبب ان هـذه النبيطـة برهنـت فائدتها الكبيرة في دراسة سطوح شبه الموصل وان ثنائي MOS يشكل جوهر النبيطة الأكثر أهمية فـي الدوائر المتكاملة ذات الكفاءة العالية جداً ، ولهذه النبيطة استخدام مهم في مجال الخلايا الشمسية.

ان طبيعة النبيطة MOS يمكن ان يفهم من خلال تصور وضعية متسعة متوازيـة الـسطحين وان مجال كهربائي يتكون من خلال المادة العازلة. وان طبيعة الارتباط بين شبه الموصل والمـادة العازلـة والمعدن موضح من خلال الشكل (1).



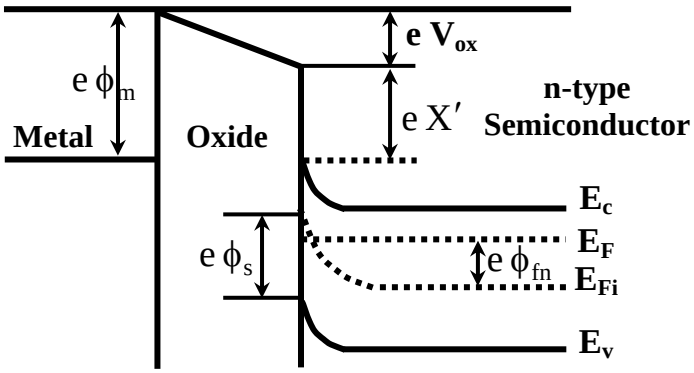
شكل 1 : مخطط حزمة الطاقة لتركيب MOS.

في حالة تسليط فولتية موجبة على سطح المعدن نسبة إلى سطح شبه الموصل تتكون شحنات سالبة مجتمعة على سطح شبه الموصل كما موضح في الشكل (2).



شكل 2: مخطط حزمة الطاقة لتركيبة MOS في حالة تسليط فولتية موجبة.

وفي حالة تسليط فولتية سالبة على سطح المعدن نسبة إلى شبه الموصل يكون طبيعة الاتصال كمـا موضح في الشكل (3) سنحصل على تجميع عالي للشحنات السالبة على سطح شبه الموصل.



شكل 3 : مخطط حزمة الطاقة لتركيبة MOS في حالة تسليط فولتية سالبة.

حيث أن:

X = electron affinity $X(SiO_2) = 0.9$

X' = Modified electron affinity

ϕ_{fn} = potential difference between E_F and E_{Fi} for n-type semiconductor

ϕ_s =surface potential, is the difference between E_{Fi} measured in the bulk semiconductor and E_{Fi} measured at the surface.

ϕ_m = metal work function

V_{ox} = the potential across the oxide

وفي حالة استخدام النبيطة MOS كخلية شمسية وفي حالة وجود طبقة رقيقة من الاوكسيد فانه سيؤدي إلى تحسين كفاءة الخلية الشمسية لنبيطة شوتكي وان سمك الطبقة العازلة يجب ان تكون ما بين A^o(10-100).

ان الميكانيكية التي يعتمد عليها اسلوب انتقال التيار هي عملية التنفيق عند اختيار طبقة مناسبة من شبه الموصل وبتطعيم معين مع الأخذ بنظر الاعتبار دالة الشغل للمعدن المستعمل.

ان احتمالية التنفيق في الطبقة العازلة يؤدي إلى نقصان تيار العتمة (Dark Current) في حالة الاتجاه الأمامي للنبيطة، وكنتيجة لنقصان تيار العتمة (Dark current) فان فولتية الدائرة المفتوحة ستزداد وهذا يؤدي إلى زيادة كفاءة التحويل للخلية الشمسية. وان وجود طبقة الأوكسيد لا يؤثر بدرجة كبيرة على تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}).

ان تيار الخلية الشمسية في النبيطة MOS تحت الاضاءة يعطى بالمعادلة التالية (Grove, 1967) :

$$J = J_{sc} - J_{po} \exp(-x^{\frac{1}{2}} d) \exp(\frac{q v}{n K_B T}) - J_{rec}$$

حيث أن:

$$J_{po} = A^{*} T^{2} \exp(-\frac{q \phi_{bp}}{K_B T})$$

$$J_{rec} = J_r \exp(\frac{q r}{2 K_B T})$$

ϕ_{bp} = Barrier high

إن دراسة تأثير الإشعاع على نبائط أشباه الموصلات بدأت منذ 1962 حيث أظهرت دراسات سابقة أن تأثير الإشعاع في بنية الشبه الموصل تعمل إزاحات لذرات الشبيكة وهذه الازاحات تبقى لفترة قرابة 10^3 ثانية في درجة حرارة الغرفة (Chaffin, 1973 and Vavilov and Ukhin, 1976) ومن خلال الدراسات تبين ان العيوب الرئيسية التي يولدها الاشعاع في بنية الشبه الموصل هي الفراغات والذرات البينية وان احتمالية افناء الفراغات والذرات البينية إحداهما الأخرى كبيرة (Mitchell and Wilson, 1967 and Vavilov and Ukhin, 1976). ان تاثير الاشعاع في بنية الشبه الموصل تأثير وقتي في حين ان تاثيرات السطح هو دائم او شبه دائمي، لذلك فان الدراسات بدأت تتجه إلى تأثيرات الاشعاع في سطوح النبائط وأهملت الاهتزاز الناتجة عن الازاحة في ذرات الشبيكة (Nicollian and Brews, 1982 and Mitchell and Wilson, 1967).

ان الدراسات التي أجريت على النبائط نوع MOS أكدت بشكل كبير على اهمية تأثيرات السطح إذ تظهر من الدراسات ان خواص السعة-الفولتية والتوصيلية-الفولتية لهذه النبائط تزحف منحنياتها نتيجة التعرض للاشعاع المؤين (Francies et al, 1967 and Holmes-Siedle and Zaininger, 1968).

درس الباحث (Hughes, 1975) تأثير الاشعاع على السطح البيني Si/SiO_2 في تركيب MOS ولاحظ ان المستويات البينية تتولد من جراء تعرضها إلى الاشعاع وبشكل عام ليس بالامكان معرفة نوع المستويات هي مانحة او قابلة من خلال تحليل خواص السعة-الفولتية وان الازاحة في الفولتية المسطحة لـ n-Si و p-Si لا تعتمد على نوعية المستويات المتولدة.

درس الباحث (عزت، 1999) تأثير أشعة كاما على نماذج MOS المحضرة بطريقة الأكسدة الحرارية وأظهرت نتائجه أن هناك إزاحة لمنحنيات التيار-الفولتية بعد تعرضها لأشعة كاما.

الجزء العملي

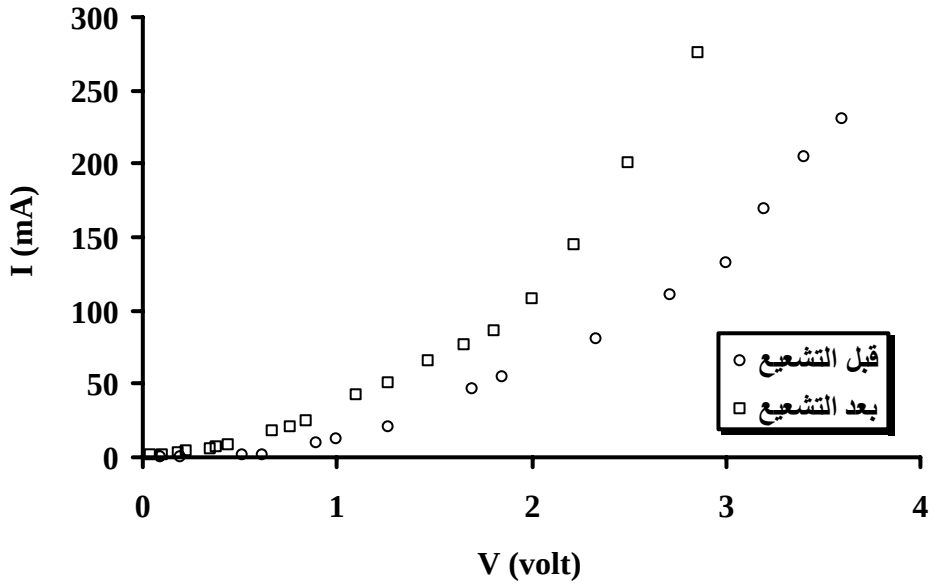
ان الهدف الاساس من هذا البحث هو تركيز الدراسة على الخواص الفيزياوية للنبيطة MOS أي علاقة التيار-الفولتية (I-V) والسعة الفولتية (C-V) قبل التشعيع وبعده. ان النبيطة MOS المستخدمة في

هذا البحث يتكون من قاعدة سليكون n-type أحادي التركيب البلوري ذو اتجاه [100] وذات مقاومة نوعية بحدود ($\Omega.cm$) 4 – 1.5 وتحركية (450 $cm^2/V.s$)، وكانت النماذج المستخدمة بأبعاد (1 cm × 1 cm). ان طبقة العازل SiO_2 تم تحضيرها بطريقة الأكسدة الأنودية باستخدام المحلول المائي لحامض الهيدروكلوريك عيارية 0.1 والخلية الكهروكيميائية ذات ثلاثة أقطاب للحصول على سمك منتظم لطبقة الأوكسيد SiO_2 وبأسماك صغيرة حيث كانت ^oA 45 و ^oA 80 . تم ترسيب أقطاب التوصيل الأومي للنبيطة بواسطة التبخير الحراري عند ضغط (10^{-4} Torr) للألمنيوم على سطح السليكون الخلفي وتمت عملية التلدين في درجة حرارة الغرفة ^oC 300 للحصول على التوصيل الاومي إضافة إلى تشكيل نقاط توصيل بقطر (1 mm) أو (0.5 mm) من خلال قناع خاص.

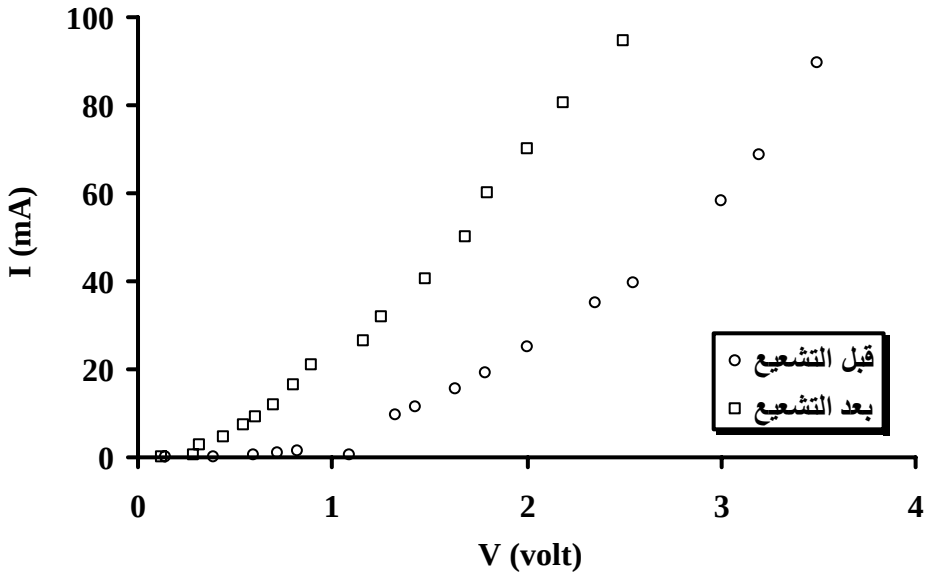
تم إجراء قياسات تيار-فولتية (I-V) وقياسات السعة-الفولتية (C-V) بواسطة جهاز (A multi-Frequency LCR meter of model 427A type HP). وتم تشعيع النماذج بأشعة كاما المنبعثة من خلية كاما (Gamma Cell 220) وهو مصدر مشع من Co^{60} ذو فعالية (6430 Ci) المصنّع 1982 وتقدر في الوقت الحاضر (5161 Ci) مصدر الكوبلت المستخدم يتكون من 48 مصدر خطي موضوعة بحيث تكون تشكيلاً اسطوانياً قطرها (20.9 cm) بين مركز العناصر المتتالية وكل عنصر خطي يتألف من قلم من الفولاذ ومملوء بـ Co^{60} وان قطر كل قلم هو (1 cm) وطوله (20.3 cm).

النتائج والمناقشة

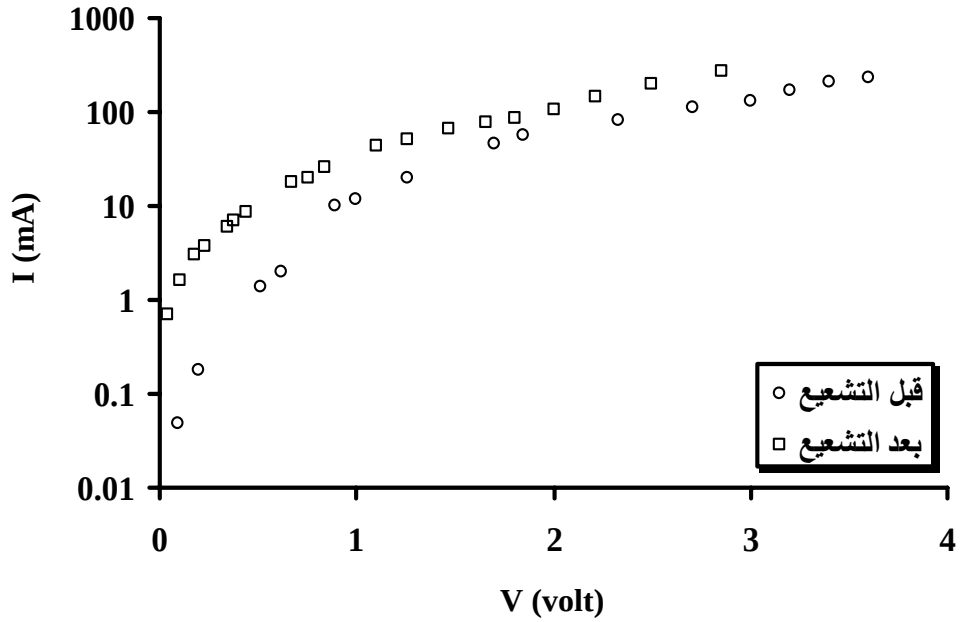
الشكل (4، 5) يمثل خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS مشعع وغير مشعع بأشعة كاما لارضية سليكون نوع n-Si . للتعرف على ميكانيكية سريان التيار تم رسم (log I -vs- V) للنماذج السابقة يظهر من الشكل (6) وجود عدة مناطق ، المنطقة الاولى عند الفولتيات الواطئة تخضع لقانون اوم ($I \propto V$) وتلي هذه المنطقة منطقة ثانية بزيادة الفولتية المسلطة فان التيار يزداد بشكل مفاجئ وهذه تخضع إلى قانون القوى اذ ان ($I \propto V^m$) السبب في ذلك هو ان عدد الشحنات المتحركة أكبر مقارنة مع الشحنات المقتنصة عند الفولتيات التي تتجاوز حد ملئ القوانص ولهذا تظهر خاصية التيار-الفولتية وكأن العازل خال من القوانص (Wright, 1963) كما نلاحظ من خلال الشكل أيضاً ان هناك توافق مع نتائج الباحث (Aitken et al., 1976).



شكل 4: يبين خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS ذات سمك أوكسيد 45 ^{o}A بجرعة (1.9×10^{4} Rad).

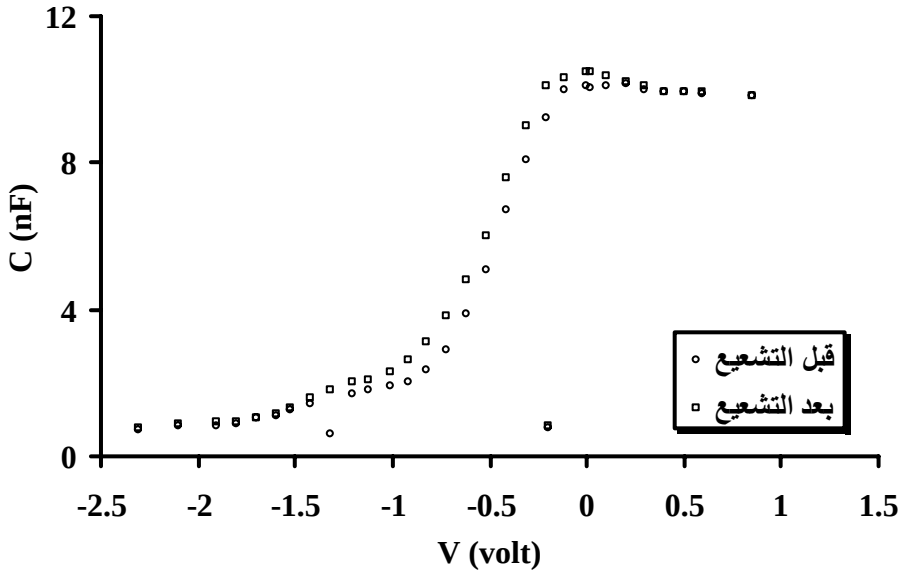


شكل 5 : يبين خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS ذات سمك أوكسيد 80 ^{o}A بجرعة (1.9×10^{4} Rad).



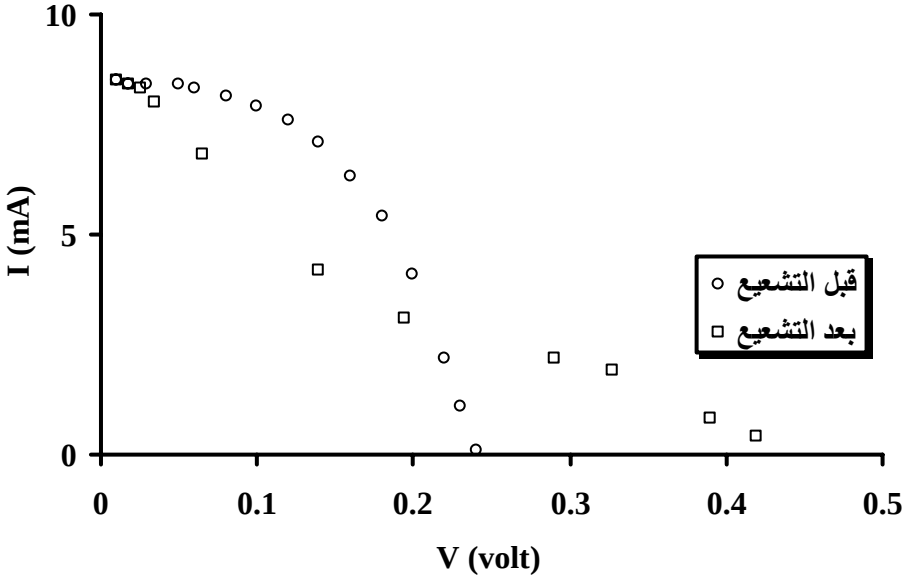
شكل 6 : يبين خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS مشععة بجرعة (1.9×10^4 Rad).

الشكل (7) يمثل خواص السعة-الفولتية لمتسعة MOS لنوع n-Si المستخدم كأرضية في صنع النبيطة عند تعرضها إلى أشعة كاما بجرعة (1.9×10^4 Rad)، تمت هذه القياسات عند تردد (100 kHz) حيث أظهرت هذه القياسات إلى تطابق جيد للمنحنيات عند هذه التردد والتي يعزى إلى تجانس سمك الاوكسيد المنمى. ومن الشكل إن منحني السعة-الفولتية زحفت باتجاه اليسار (أي بالاتجاه السالب لمحور الفولتية المسلطة) وهذا الزحف يبين ان الشحنات الفراغية الموجبة هي التي تولدت داخل عشاء الاوكسيد (عزت، 1999) من جراء اقتناص الفجوة المتولدة بواسطة أشعة كاما من قبل القوالنص الموجودة داخل غشاء الاوكسيد وعملية اقتناص الفجوات تتغلب في أكاسيد ذات فجوة طاقة كبيرة فضلاً عن كون حركية الفجوات بطيئة مقارنة مع حركية الالكترونات لذلك نستنتج ان الازاحة الحاصلة في الفولتية المسطحة ناتجة عن توليد شحنات إضافية داخل غشاء الاوكسيد عند تعرض المتسعة MOS لأشعة كاما.



شكل 7 : يبين خواص السعة-الفولتية لنوع n-Si ذات سمك أوكسيد $45\ ^{o}A$.

الشكل (8) يمثل خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS كخلية شمسية قبل وبعد التـشعيع ان التغيـر الحاصل في هذه الخاصية بعد التعرض للاشعاع وانخفاض القدرة الخارجة للخلية تشير إلـى ان الخليـة حدثت فيها عيوب وهذا قد يكون السبب في زيادة المقاومة المتوازية الموجودة ضمن الدائرة المكافئة لهـا وهذه المقاومة تؤدي إلى انحراف الخاصية في الفولتية الخارجة فضلاً عن ان العيوب قد تؤدي إلى حدوث عدة وصلات متفرقة مما تؤدي إلى ظهور الفولتية بقيم أعلى.



شكل 8 : يبين خواص التيار-الفولتية لنبيطة MOS كخلية شمسية ذات سمك أوكسيد $45\ ^{o}A$.

الاستنتاج

من خلال دراستنا للخواص الكهربائية لنبيطة MOS المشعة كانت آلية التوصيل تخضع إلى التيـار المحدد بالشحنة الفراغية الموجبة والتي تبينت من خلال خواص التيار-الفولتية، حيـث ان اشـعة كامـا الساقطة على نبيطة MOS ادت إلى توليد الشحنات الفراغية الموجبة في داخل الاوكـسيد والمـستويات البينية في السطح البيني Si/SiO_2 مسببة الازاحة السالبة في منحني السعة-الفولتية حيث ادت إلى زحـف في الفولتية المسطحة وان هذا الزحف كان بالاتجاه السالب لمحور الفولتية المسلطة.

أداء النبيطة MOS كخلية شمسية أظهرت النتائج ان هناك انخفاض في القـدرة الخارجـة للخليـة المتعرضة للاشعاع وان هناك ازاحة في الفولتية التي ظهرت في الخلية مما أدى إلـى زيـادة المقاومـة المتوازية الموجودة ضمن الدائرة المكافئة لها.

المصادر العربية

عزت، احمد قادر، 1999. تأثير اشعة كاما على اغشية ثنائي اوكسيد الـسليكون فـي نبـائط المعـدن-الاوكسيد-الشبه الموصل، رسالة ماجستير مقدمة إلى كلية التربية، جامعة الموصل.

المصادر الأجنبية

Aitken, J. M.; Dimaria, D. J. and Young, D. R. , 1976. Electron Injection Studies of Radiation Induces Positive Charge in MOS Devices, IEEE Trans., NS 23(6),1526 p.

Chaffin, R. J., 1973. Microwave Semiconductor Devices: Fundamental and Radiation Effects, John Willey and Sons, USA , 89 p.

Francies, P.; Michel, C.; Flandre, D. and Coling, T. P., 1994. Radiation Hard Design For SOIMOS Inverters, IEEE Trans. On NS, 41(2), 402 p.

Grove, A.S., 1967. Physics and Technology of Semiconductor Devices McGrow-Hill Inc. 280 p .

Holmes-Siedle, A. G. and Zaininger, K.H., 1968. The Physical of Failure of MIS Devices Under Radiation, IEEE Transe on Reliability, 1(1), 34 p .

Hughes, G.W., 1975. Interface-State Effects in Irradiated MOS Structures, J. Appl. Phys., 48(12), 5357 p.

Mitchell, J. P. and Wilson, D. K., 1967. Surface Effect of Radiation on Semiconductor Devices, The Bell Sustem Technical J, No. 1, 1 p.

Nicollian, E.H. and Brews, T.R., 1982. MOS Physics and Technology, Murrey Hill, New Jersey, 200 p.

Vavilov, V.S. and Ukhin,1976. Radiation Effect in Semiconductor and Semiconductor Devices, Burean, New York, 53 p.

Wright, G. T., 1963. Space Charge limited Solid State Devices, Procceding of IEEE, No.6, 1692 p.