التأثيرات الإشعاعية لجسيمات ألفا في الخواص الكهربائية لنبائط معدن– عازل– شبه موصل MIS
$Au-Ta_2O_5-GaAs$

أطروحة تقدمت بها

صهباء محفوظ محمود البك

إلى

مجلس كلية التربية في جامعة الموصل

كجزء من متطلبات نيل شهادة دكتوراه فلسفة

فيزياء الحالة الصلبة

بأشراف

الأستاذ المساعد	الأستاذ المساعد
الدكتور سعيد حسن سعيد النعيمي	الدكتورة أطياف صبحي الروَاس

كانون الثاني 2007 م — ذو الحجة 1427هـ

الملخـص

تكمن أهمية دراسة الخواص الكهربائية لنبيطة MIS بظروف مختلفة كالإجهاد والإشعاع في معرفة مدى تحمل العازل للتغيرات البيئية والتي تُعد مطلباً مهماً في الاستخدامات العملية للنبائط المستخدمة في الأجهزة المصنعة . فهناك أهمية كبيرة لدراسة أضرار الإشعاع المؤين لغرض تصنيع نبائط قابلة للاستخدام في الصناعة، والفضاء، والتطبيقات العسكرية للعمل في محيط إشعاعي، وفي التصوير التلفزيوني. تتمحور هذه الدراسة في اتجاهين؛ الأول تحضير نبائط MIS، والثاني تصنيع عدد من الأجهزة الضرورية في القياسات العملية، كمنظومة التبريد (Crystotate) ومنظومة التلدين الحراري ومولد الفولتية المتدرجة (Ramp Voltage Generator) والمسخن الحراري. أما الاتجاه الأول، فقد تم تحضير نبائط معدن– عازل– شبه موصل بترسيب غشاء التنتاليوم المؤكسد Ta_2O_5 بسمك 500A° على أرضية ارسينايد الكاليوم n–type بطريقة الرشق، ثم ترسيب طبقة من الذهب سمكها 1000A° بالتبخير الحراري تحت ضغط واطئ يقرب من 10^{-5} Torr لتكوين البوابة المعدنية الفوقية لتركيب MIS. لقد شُععت النبائط بجسيمات ألفا بطاقات MeV (5.1-1.2) بحالتين: بجرع قليلة وأخرى عالية تراكمية لازمان مختلفة min(30–0) والمنبعثة من الراديوم ^{226}Ra (0.5μCi). وقد تم توهين الطاقة القصوى 5.1 MeV باستخدام رقائق بوليمرية للحصول على الطاقات MeV (4, 3, 1.8, 1.2). أظهرت الأجهزة المصممة كفاءة جيدة في القياس إذ أمكن الوصول إلى درجة C°(173–) في منظومة التبريد وC°5±450 في عملية التلدين فضلا عن الكفاءة الجيدة لمولد الفولتية المدرجة. أظهرت خصائص تيار– فولتية إن آلية نقل التيار في نبائط MIS المشعة هي إما شوتكي أو بول–فرنكل، وقد لوحظ ن تأثير الإجهاد في غشاء Ta_2O_5 مهمل تقريباً إلى حد 4 V للنبائط القياسية، وان الاستجابة الترددية له قليلة جدا وبخاصة عند مدى التردد (200Hz-1MHz). إن خصائص I–V عند التشعيع بجرع قليلة تراكمية في درجة حرارة الغرفة أوضحت حدوث تلفٍ دائمٍ في خواص النبيطة لطاقتي التشعيع MeV (5.1,1.2) وحدوث تلف مؤقت عند الطاقة 4MeV ، فيما لم تُحدث الطاقتان MeV (3,1.8) أي تأثير يذكر. أما عند التشعيع بجرع عالية تراكمية فان الطاقتين MeV (4 , 1.8) أصبحتا مؤثرتين وأحدثتا تلفاً دائماً، في حين أن الطاقة 3 MeV وكما في الحالة الاولى بالتشعيع بجرع قليلة تراكمية لم تُحدث أي تأثير. أما خصائص سعة–فولتية للنبائط ، فان التشعيع ادّى إلى زحف في الفولتية المسطحة ΔV_{FB}، وهذا الزحف غالبا ما كان بالاتجاه السالب لمحور الفولتية المسلطة وأدّت إلى قيمة موجبة لـ ΔV_{FB} تراوحت بين V (0.91–0.013)، وأحيانا كانت سالبة عند الزحف بالاتجاه الموجب لمحور الفولتية لكلتا حالتي التشعيع، ترافقهما زيادة واضحة أو نقصان في مقدار الشحنة المؤثرة ΔQ_{eff} . لقد تم حساب تركيز المانحات N_d، ووجد أن التشعيع بجرع قليلة تراكمية تظهر زيادة واضحة عند جرعات معينة تقرب من cm^{-3} (10^{14}–10^{22}) للطاقتين MeV (5.1, 4) في حين أن هذه الزيادة بدت ثابتة نوعا ما للطاقات الأخرى مثل (3, 1.8, 1.2) MeV، ولكن عند التشعيع بجرع عالية تراكمية فان N_d قرُبت من cm^{-3} (10^{14}–10^{17}) للطاقات المستخدمة. كما وجد أن التلدين الحراري لنبائط MIS في درجة C°150 لا يؤثر في استقرارية النبيطة، وان أفضل درجة تُحدث تقويماً جيداً للتيار على الأغلب هي C°250 فضلا عن أن الدرجة C°300 تُحدث توصيلاً أومياً في خواص النبيطة. لقد تم حساب طاقات التنشيط الحرارية من خلال دراسة الخواص الحرارية للنبائط المشعة في درجات الحرارة المنخفضة K (303–103) ، وان القيم الواطئة لتلك الطاقات توضح وجود مواقع كثيرة للتنطط، وان آلية نقل التيار قد يتم عن طريق قفز بولرون. وفضلا عن ذلك فقد وجد انه لحالة محددة من التشعيع عند جرعة بحدود 6 min ودرجة حرارة بحدود 163 K حصول زيادة مفاجئة في التيار تؤدي إلى ظهور ذروة مبكرة في تيار النبيطة. لقد لوحظ انه بزيادة الفولتية بالاتجاه الأمامي تؤدي إلى زيادة ارتفاع الذروة المبكرة وتؤدي إلى نشوء زيادة جديدة في التيار وبدء ظهور " ذورة متأخرة " في التيار عند زمن تشعيع 18 min. وهكذا فان الزيادة الإضافية في فولتية الانحياز الأمامي تؤدي إلى زيادة أسرع في

ارتفاع الذروة المتأخرة بشكل أسرع من ارتفاع الذروة المبكرة مقتربين من تساوي ارتفاعيهما عند زمن تشعيع 30 min.

Abstract

The significance of studying the electrical characteristics of MIS devices in different conditions such as stress and irradiation lies in the knowing of the endurance of the insulator to the environmental changes. These characteristics are an important demand in the practical uses of that devices. There is a great importance in the study of the disadvantages of the ionized radiation so as to make devices that are used in industry, space, military applications and television imaging in the fabricating of such devices that contain radioactive sources . The study centers on two directions: the preparation of MIS devices and making of a number of systems to use in particular measurements such as cooling system (cryostat), annealing system, ramp voltage generator and heater. The semi–conductor–insulator–metal devices have been prepared through depositing a layer of 500°A of Ta2O5 on n–type of GaAs substrate by sputtering method. Then a layer of 1000°A gold Au was deposited by thermal evaporation under vacuum of ~10^{-5} Torr to produce an over–metal gate in the MIS structure. The prepared devices have been irradiated with alpha particles from ^{226}Ra (0.5mci) with different energies (5.1–1.2) MeV and different times (0–30) min. The irradiation was achieved by two methods: an accumulated low doses (ALD) and an accumulated high doses (AHD). The maximum energy was attenuated by using thin layers of a certain polymer to get the energies (4, 3, 1.8 & 1.2) MeV. The designed systems have showed a good efficiency in measurements that enable us to reach to very low temperature up to (-173)ºC in the Cryostate and to high temperature up to 450±5°C in annealing system in addition to the good efficiency of the Ramp Voltage Generator. However, the I–V characteristics showed that the current transport mechanism in an irradiated MIS devices is either Shottcky or Poole–Frenkle. It has been noticed that the effect of the stress on the standard (unirradiated) devices is nearly negligible up to 4V biasing referring to frequency responseless of these devices especially within the range (600Hz-1MHz). The irradiation of the devices with accumulated low doses of alpha particles at room temperature showed a permanent damage in the devices structure at irradiation energy (5.1 & 1.2) MeV and a temporary damage at 4 MeV while the rest two energies (3 & 1.8) MeV did not appeared any significant effect. On the other hand, the irradiation with accumulated high dose showed that the irradiation energy (1.8 & 4) MeV became an effective and produced a permanent damage as that produced by 5.1 MeV in the first type of irradiation, the accumulated low doses, while the energy 3 MeV is again not showed any significant effect as in the first type of irradiation. Thus the C–V characteristics of an irradiated devices showed a shift in the flat band voltage (ΔV_{FB}). This shift often was in the passive direction of the applied voltage biasing giving positive values of delta flat band voltage (ΔV_{FB}) nearly between (0.013–0.91)V, and sometimes the shift was in the positive direction leading to negative ΔV_{FB} values for both types of irradiation. Moreover, the produced shift was accompanied by a significant increase or decrease in the effective charge density (ΔQ_{eff}). The change donor concentration (N_d) was also calculated and it was found that the irradiation by a certain accumulated low

doses lead to a noticeable increase ranged between $(10^{22}-10^{14})$ cm^{-3} at the energy (5.1 & 4) MeV, while this increase seemed to be approximately constant for other irradiation energies (3, 1.8 & 1.2) MeV. But the irradiation with accumulated high doses gives N_d values about $(10^{14}–10^{17})$ cm^{-3} for used energies. It was also found that the annealing of MIS devices at 150°C does not affect on the device stability, and the best annealing temperature that produces a good rectification of the device's current is about 250°C while the annealing at 300°C produced an ohmic conduction in the device. The thermal activation energy has been calculated by predicting the thermal characteristics of the irradiated MIS devices under low temperatures (103-303) K. The low values of the activation energies shows the existence of large number of hopping positions and the current transport mechanism might carry out through polar jumping. In addition to that, It was found that for a particular case of irradiation nearly at irradiation time 6 min and temperature about 163 K, a rapid increase in the current was occurred leading to an "early peak" production in the device current. This effect in the device characteristics may gives rise to the fact of creation a certain complex types of defects in the device structure. It was noticed that the increasing of the forward biasing voltage lead to increase the high of the early peak and gives rise to new increase in the current, "delayed peak", to start appearing at irradiation time 18 min. However more increase in the forward biasing voltage leads to faster increase in the high of the delayed peak than that of the early one approaching to an equal high at about 2 volt.

Radiation Effects of Alpha Particles on the Electrical Properties of MIS Devices Au-Ta_2O_5-GaAs

A Thesis Submitted

By

Sahbaa Mahfoodh Mahmood Al-Begg

To

The Council of the College of Education
University of Mosul
In Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Philosophy Doctorate

in

Solid State Physics

Supervised by

Assist. Prof.
Dr. Sa'eed Hassan Al-Nia'emi

Assist. Prof.
Dr. Atyaf Subhi Al-Rawass

Jan. 2007 A.D. Dulhijja 1426 A.H.