

دراسة مميزات السعة- الفولتية (C-V) لترانزستور تأثير- المجال
معدن- أوكسيد- شبه موصل MOSFET المصنع بطريقة الطبع الضوئي

د. عادل حبيب عمران* د. أحسان محسن عباس** د. ياسين نجم عبيد***
د. أطيف صبحي الرواس****

* جامعة الكوفة- كلية العلوم
** وزارة العلوم والتكنولوجيا
*** الجامعة المستنصرية- كلية العلوم
**** جامعة الموصل- كلية طب الاسنان

الخلاصة:

يتضمن البحث تحضير ترانزستور تأثير المجال معدن- أوكسيد- شبه موصل MOSFET بطريقة الطبع الضوئي ودراسة مميزات السعة- الفولتية (C-V) في حالتي الانحياز الامامي والعكسي وتأثير تغير التردد عليها ، مع حساب بعض المتغيرات الفيزيائية المهمة له . الترانزستور المصنع باستعمال السليكون النوع الموجب (p-type Si) ذو قناة نوع n- (nMOSFET) طولها 50µm وعرضها 1000µm . أظهرت النتائج أن السعة C_G تتناقص مع زيادة فولتية البوابة V_G في حالة الانحياز العكسي عند الترددات 200KHz, 100 KHz 500KHz ,400KHz ، وأظهرت النتائج أيضا أن السعة C_G تزداد بزيادة فولتية البوابة V_G ، وأن السعة تتناقص بزيادة تردد التيار المسلط ، وأظهرت النتائج أيضا أن السعة تتناقص بزيادة تردد التيار المسلط ، وأن سلوك السعة- الفولتية في حالتي الانحياز الامامي والعكسي يتفق مع السلوك النظري للترانزستور.

Studying the capacitance – voltage (C-V) characteristics for the
metal- oxide-semiconductor field- effect transistor MOSFET
fabricated by photolithography technique

Dr. Adel H. AL-Kahyatt*
Dr. Y. N. Obaid***

Dr. E. M. Abass**
Dr. A. S. Al-Rowass****

* College of science AL-Kufa University

** Minstry of science and technology

*** College of science AL-Mustansiriya University

**** College of Dental medicine AL-Mousel University

Abstract:

This paper contain the fabrication of metal-oxide- semiconductor field- effect transistor MOSFET by using the lithography technique and studying of (C-V) characteristics in the reveres and forward bias and the effect of frequency variation on it, with calculate some important physical variable parameters for it.

The fabricated transistor by using p- type silicon as a substrate has n-type channel (n-MOSFET) its length and width equal to $L=50\ \mu m$, $Z = 1000\ \mu m$. The results showed that

the capacity (C_G) was decreases with the increasing of the gate voltage V_G in the reverse bias with frequencies (100,200,400,500) KHz, and the capacity decreases with the increasing of the applied current frequency. The results also showed that the capacity C_G increases with the increasing of the gate voltage V_G in the forward bias with the same frequencies and the capacity decreases with the increasing of the applied current frequency. The behavior of capacity-voltage in the forward and revers biases is in good agreement with the theoretical behavior of the transistor.

وللحصول على اتصال أومي جيد تم إجراء عملية الازالة الكيماوية للاوكسيد المتكون تلقائيا native oxide على سطح السليكون بوضع العينة في محلول الازالة المحتوي على الهيدروفلوريك HF والماء بنسبة (1:10) ($HF:H_2O$) لمدة دقيقة واحدة ، ثم تغسل وتجفف لتصبح جاهزة لعملية الترسيب .

ب- تصميم الاقنعة الضوئية :
 تم تصميم ثلاث أقنعة ضوئية لكل من المصدر source والمصرف drain والاوكسيد والبوابة gate وكالاتي :

1- تصميم القناع الضوئي الاول للمصرف عدد 2 والمصدر بأبعاد 1mm والمبين في الشكل (1a)

2- تصميم القناع الضوئي الثاني للاوكسيد بعد 250 μm والمبين في الشكل (1b) .

3- تصميم القناع الضوئي الثالث لبوابتين كل منهما بعد 50 μm محل الاتصال بينهما بعد 1mm والمبين في الشكل (1c) .

وللحصول على نبيطة ذات أبعاد دقيقة يتم رسم هذه التصاميم للأقنعة اعلاه باستعمال حاسوب متطور ، ولغرض الحصول على أكثر من نبيطة في وقت واحد يصار إلى تكرار التصاميم وبنفس المواصفات بالضبط وباستعمال الحاسوب أيضا ، حيث يتم الحصول على عدد كبير من الاقنعة المتماثلة ضمن مساحة محددة ولكل قناع على حدة. بالنتيجة النهائية نستطيع الحصول على عدد من النبائط بنفس المواصفات وبعملية واحدة على الشريحة السليكونية ليكون لنا الخيار بعملية الفحص في أستبعاد النبائط غير الصالحة للعمل .

تستعمل الأقنعة الثلاثة وبصورة متعاقبة للحصول على أجزاء النبيطة بعملية متسلسلة وبطريقة الطبع الضوئي ، وللحصول على درجة تطابق عالية نعد الى وضع علامات على أطراف الاقنعة الثلاثة وبنفس المواقع باستعمال الحاسوب أيضا لنضمن تطابق مواقع الاقنعة الثلاثة والتي نحصل منها بالتعاقب على المصدر والمصرف أولا ثم الاوكسيد والبوابة وكل جزء في موقعة بالضبط ليكون الناتج بعد عمليات الطبع الضوئي والترسيب

1-المقدمة:-

ينتمي ترانزستور تأثير المجال معدن-أوكسيد- شبه موصل MOSFET الى المجموعة الرئيسية من النبائط التي تدعى ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة (IGFET) والذي يمتلك بوابة معزولة كهربائيا عن شبه الموصل بواسطة طبقة عازلة (1,2) .

وبعد الترانزستور أهم نبيطة شبه موصلة في الدوائر الالكترونية عالية الكثافة (VLSI) المستعملة في الذاكرات شبه الموصلة والمعالجات الدقيقة ويأخذ الترانزستور دوره كنبيطة مهمة في تطبيقات القدرة (1,3) . وأصبحت ترانزستورات MOSFET أكثر شيوعا في الدوائر الالكترونية المتكاملة ICs التجارية بسبب بساطتها وقلة التكاليف وصغر المساحة والحجم بالإضافة الى قلة القدرة المستهلكة (2,3) .

أختيرت تقنية السعة- الفولتية (C-V) لأنها من التقنيات التي لا تؤثر سلبا على النبيطة وأنها لا تؤدي الى تغيرات سلبية في خواص النبيطة المستعملة وأن تطبيقاتها ذات أهمية خاصة لصانع النبائط من أجل تحديد مدى التطعيم الى عمق بعض المايكرونيات وفي تحديد بعض المتغيرات الفيزيائية الأخرى .

2- الجزء العملي :-

حضر الترانزستور بثلاث عمليات رئيسية وهي تهيئة السطح أو العينة بعمليات التنظيف والازالة ، وتصميم الاقنعة الضوئية ، وعمليات الطبع الضوئي المتضمنة ترسيب الاجزاء المختلفة للترانزستور ، وأخيرا إجراء القياسات الكهربائية لمميزات التيار- الفولتية للترانزستور المصنع .

أ- تحضير السطح :

استعمل السيلكون من النوع القابل (p-type) ذو الاتجاه البلوري [111] وبسمك 5.8 μm كأساس للترانزستور MOSFET . أجريت عملية تنظيف العينات بوضعها في محلول ترائي كلوروأثيلين (TCE) بدرجة حرارة 80 °C لمدة عشرة دقائق ، ثم وضعت في مجرى ماء معالج أيونيا لمدة عشرة دقائق للتخلص من الملوثات والدهون العالقة على سطح العينات . بعد ذلك وضعت العينات في محلول الاسيتون لمدة خمسة دقائق ثم غسلت بالماء الايوني .

تطلى العينة نفسها (التي تم ترسيب المصدر والمصرف عليها) بمادة المقاوم الضوئي وتجفف بنفس الطريقة اعلاه ثم تعرض الى الاشعة فوق البنفسجية من خلال القناع الضوئي الثاني الخاص بالاكسيد والمثبت فوق العينة ، وتعامل بمحلول الاظهار لازالة مادة المقاوم الضوئي المتعرض للاشعة ثم تعاد عملية التسخين بنفس الطريقة اعلاه وتجرى عملية الازالة الكيماوية بمحلول الازالة المذكور، ثم تجرى عملية الترسيب الثانية لطبقة أكسيد السليكون العازلة SiO₂ على سطح العينة . ثم تغمر العينة في محلول الاسيتون لمدة 24 hr لازالة المقاوم الضوئي الفائض مزيلا معه الاوكسيد فوقه تاركا الغشاء المطلوب من أكسيد السليكون على سطح العينة كما موضح في الشكل (4) .

وأخيرا عملية الطبع الضوئي الثالثة والتي تمت بنفس التقنية لتصنيع وترسيب البوابة ومحل الاتصال لها . حيث يطلى سطح العينة (التي تمت عليها عمليات الطبع الضوئي الاولى والثانية) بمادة المقاوم الضوئي بنفس الطريقة اعلاه وتجفف وتعرض الى الاشعة فوق البنفسجية من خلال القناع الضوئي الثالث الخاص بالبوابة بنفس الطريقة أيضا ، وبأستعمال محتويات الاظهار تعامل العينة لازالة مادة المقاوم الضوئي المتعرض للاشعة ثم تعاد عملية التسخين والتجفيف الثانية كما تم اعلاه ، ثم رسب معدن الالمنيوم النقي على سطح أكسيد السليكون لتصنيع البوابة ، بعد عملية الترسيب الاخيرة تغمر العينة في محلول الاسيتون لمدة 24 hr لازالة المقاوم الضوئي الفائض مزيلا معه معدن الالمنيوم فوقه تاركا غشاء معدن البوابة المطلوب وكما موضح في الشكل (5) .

تمت عمليات الترسيب لكل من المصرف والمصدر والاكسيد وكذلك البوابة بأستعمال طريقة التبخير الحراري في الفراغ Thermal evaporation in vacuum وتحت ضغط 10^{-6} torr والجهاز المستخدم هو من نوع (Blazer 510 BZ system). الشكل (6) يوضح المخطط الانسيابي لعمليات الطبع الضوئي الاساسية

د- القياسات العملية :

أجريت قياسات السعة- الفولتية بعد ربط الترانزستور بالدائرة الكهربائية الخاصة بدراسة مميزات السعة- الفولتية لترانزستور تأثير المجال معدن-أكسيد-شبه موصل والمبينة في الشكل (7) ، حيث أنجزت قياسات الاشارة السعوية المتناوبة كدالة للفولتية المسطرة في حالة الانحياز العكسي والامامي عند الترددات 100KHz , 200KHz , 400KHz , 500KHz ، بأستعمال مقياس (LRC-meter) Impedance analyzer وبمدى (15 Hz-

هو نبيلة صالحة للعمل والفحص والشكل 2 يبين شكل النبيلة النهائي وبعد عمليات التكرار للاقتعة الثلاث. بعد ذلك تنقل هذه التصاميم للاقتعة الثالثة على ورق شفاف بأستعمال الراسم الليزري laser plotter ومن ثم على لوح فتوغرافي شفاف مع مراعاة شروط النظافة التامة .

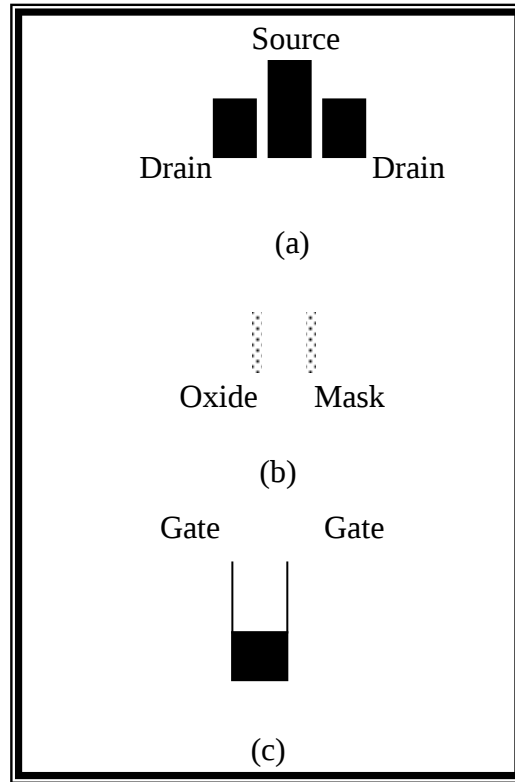
ج - عمليات الطبع الضوئي:

عملية الطبع الضوئي تستخدم لتحويل صفات القناع الضوئي الى سطح شبة الموصل ، ولتصنيع ترانزستور تأثير المجال MOSFET نحتاج الى اجراء ثلاث عمليات طباعة ضوئية وهذه العمليات موضحة في الاشكال (3,4,5) والتي تدعى بتقنية الرفع lift-off technique^(1,4) التي يمكن وصفها كالآتي :

أن اجزاء الترانزستور MOSFET من المصدر والمصرف وطبقة الاوكسيد والبوابة يمكن تحديدها بأستعمال مادة المقاوم الضوئي photorist ، وأن تقنية الطبع الضوئي تستعمل لتترك طبقة من المقاوم الضوئي على سطح شريحة السليكون قبل اجراء عمليات الترسيب ، ولهذا الغرض نستعمل مادة المقاوم الضوئي الموجب نوع Shipley AZ 1350 ، يطلى بهذه المادة سطح نظيف من السليكون بواسطة تدويره بجهاز دوران سريع 4000 r.p.m (يمكن التحكم بسرعتة) لمدة 40 sec ، ثم يتم ادخال الشريحة مباشرة في فرن منظم عند درجة حرارة 70°C ولمدة 20 min ، بعد ذلك تعرض الشريحة اشعة فوق البنفسجية ذات طول موجي بحدود (0.2-0.4 μ m) من خلال القناع الضوئي الاول الذي يثبت فوق الشريحة ويتماس محكم لمدة 15 min كما مبين في الشكل (3a) . وبأستعمال محلول اظهر يحتوي على NaOH وماء أيوني تعامل العينة لغرض ازالة مادة المقاوم الضوئي المتعرض للاشعة كما في الشكل (3b,c) ، عندئذ تعاد عملية التسخين داخل الفرن لمدة 40 min وعند درجة حرارة 90 °C . وقبل عملية ترسيب الاتصال المعدني للمصدر والمصرف أجريت عملية الازالة الكيماوية بأستخدام محلول الازالة المشار اليه سابقا . بعد ذلك تم ترسيب سبيكة ذهب- جرمانيوم بنسبة 88% ذهب و12% جرمانيوم لغرض تصنيع الاتصال الاومي لكل من المصدر والمصرف على سطح شريحة السليكون ، ثم تغمر الشريحة في محلول الاسيتون لمدة 24 hr لازالة المقاوم الضوئي الفائض مزيلا معه الاتصال فوقه تاركا غشاء سبيكة الذهب- جرمانيوم على سطح السليكون^(2,4,5,6) كما مبين في الشكل (3d) .

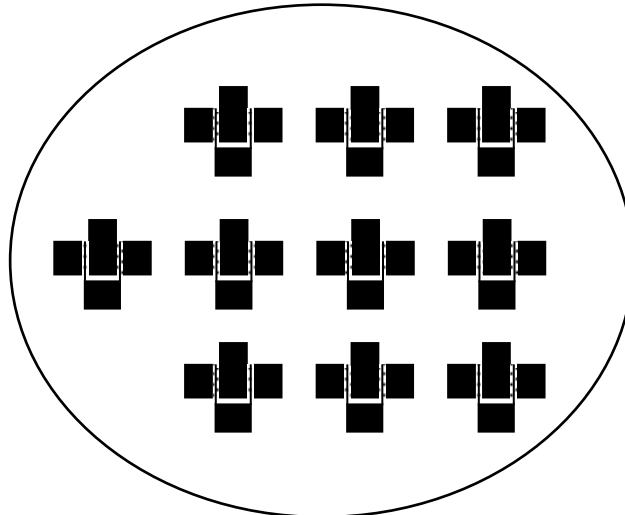
وبنفس الطريقة تم اجراء عملية الطبع الضوئي الثانية لتصنيع وترسيب طبقة الاوكسيد العازلة ، حيث

. hp-Japan (HEWLETT.PACKARD) نوع 13MHz)

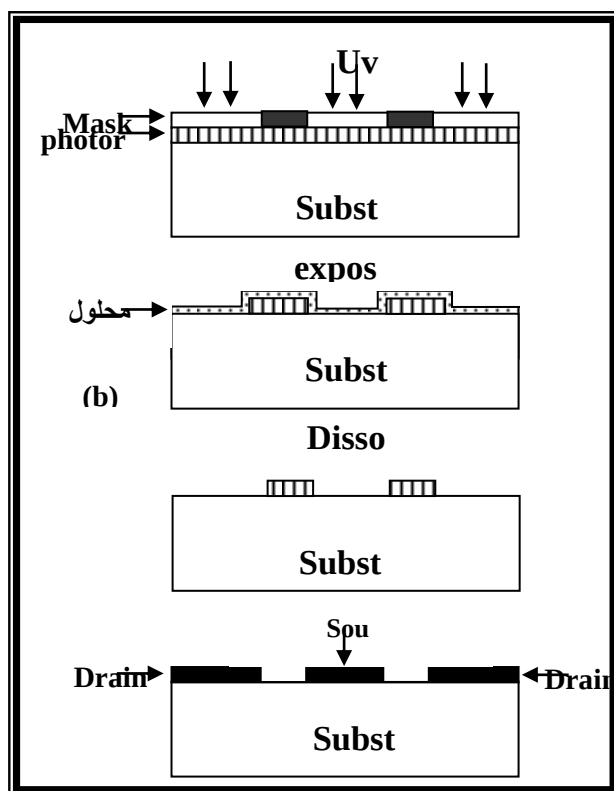


الشكل (1)

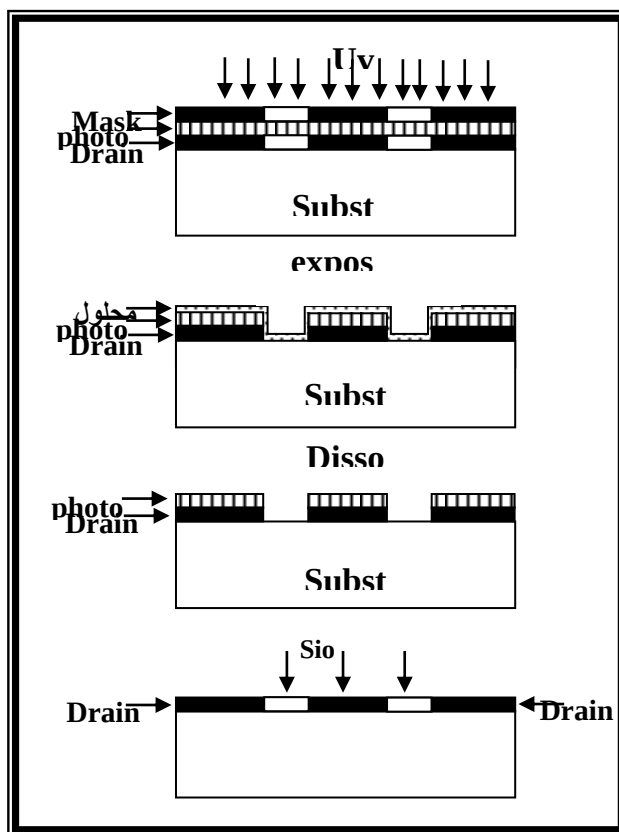
a : القناع رقم (1) والمكون من مصرف عدد (2) و مصدر
b : القناع رقم (2) قناع الاوكسيد.
c : القناع رقم (3) والمكون من بوابتين ومحل الاتصال بينهما.



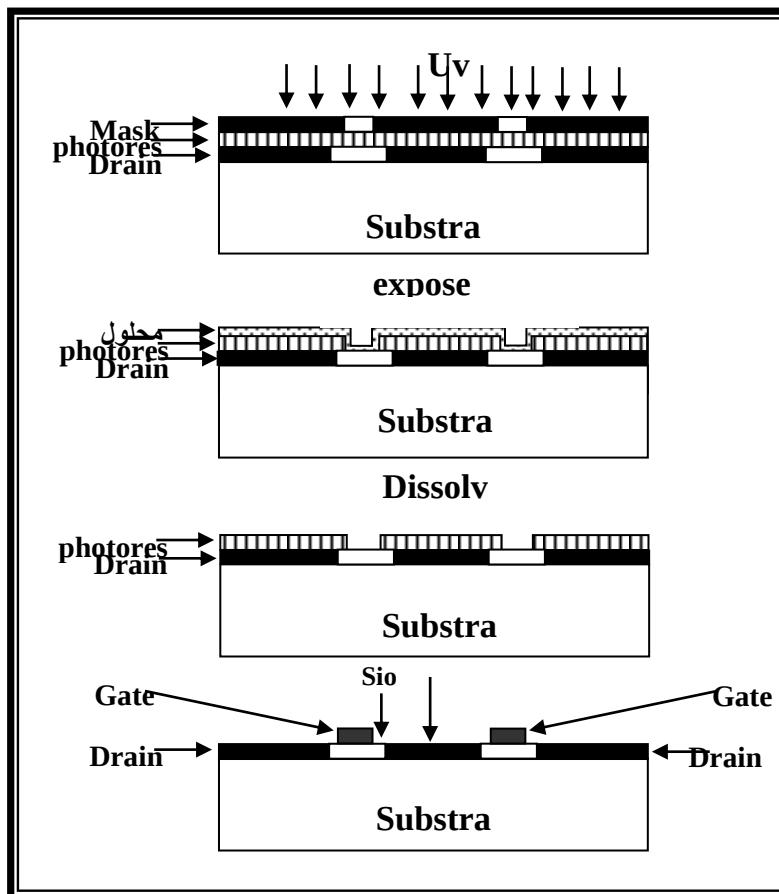
الشكل (2) يبين شكل النبطه النهائي



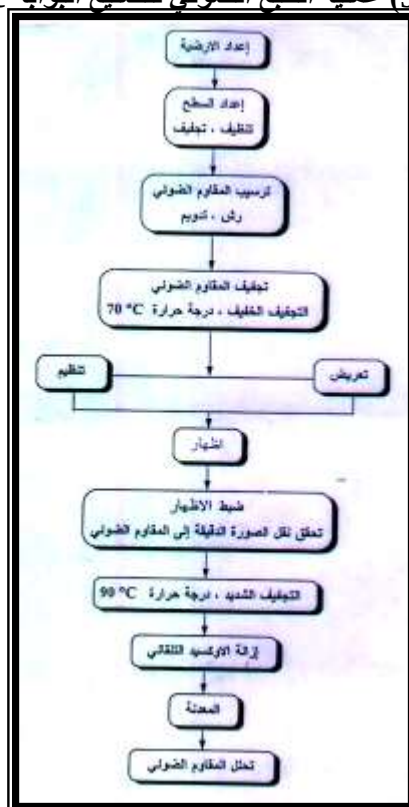
الشكل (3) عملية الطبع الضوئي لتصنيع الاتصال الاومي لكل من المصدر والمصرف.



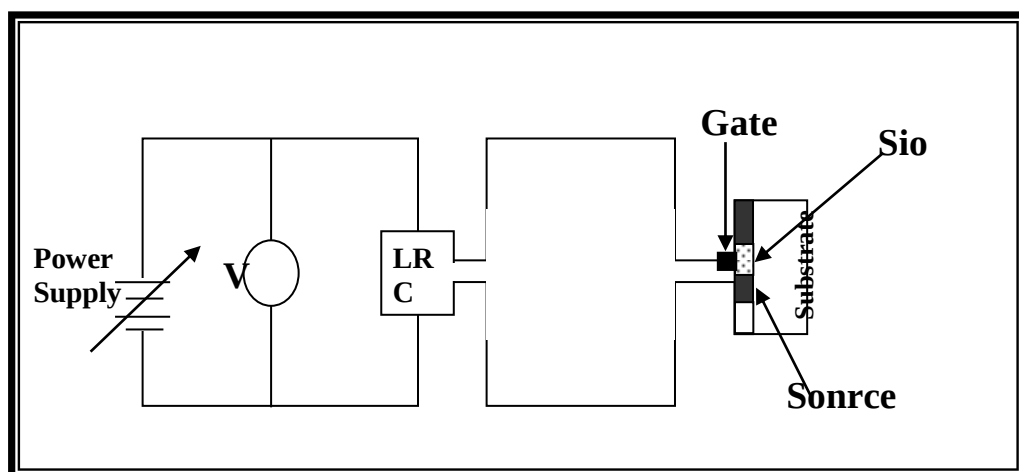
الشكل (4) عملية الطبع الضوئي لتصنيع الاوكسيد العازل SiO₂.



الشكل (5) عملية الطبع الضوئي لتصنيع البوابة Gate



الشكل (6) المخطط الانسيابي لعمليات الطبع الضوئي الأساسية



الشكل (7) مخطط الدائرة الكهربائية لقياسات السعة- الفولتية (C-V) .

3-ا لنتائج والمناقشة:-

من المعادلة اعلاه ان رسم $1/C^2$ كدالة لفولتية البوابة V_G سوف يكون خطأ مستقيماً يمكن استعمال ميله الذي يمثل $slope = \frac{d(1/C^2)}{dV_G}$ لتحديد تركيز الشوائب وكالاتي :

$$N_d = \frac{2}{q\epsilon_s A^2} \frac{1}{slope} \quad (4-10)$$

أولاً:" مميزات السعة - الفولتية في حالة الانحياز العكسي :

درست خصائص السعة - الفولتية للنبيطة المصنعة في حالة الانحياز العكسي ولعدة ترددات . 500 KHz , 400 KHz , 200 KHz , 100KHz ويبين الشكل (8) مميزات علاقة السعة - الفولتية عند التردد 100 KHz . حيث نلاحظ أن السعة تتخفف بزيادة فولتية البوابة في حالة الانحياز العكسي الذي يؤدي الى نقصان في كثافة الفجوات في سطح شبه الموصل ويكون منطقة نضوب مما يؤدي الى نقصان السعة حيث تصل الى حالة التشبع عند اقل قيمه لها عند حصول الانقلاب في سطح شبه الموصل . وان عرض منطقة النضوب الذي يزداد بزيادة الفولتية المسلطة في حالة حصول الانقلاب الشديد في سطح شبه الموصل وتبقى السعة عند قيمتها الدنيا $C_{min}^{(1,7)}$.

ان مدى التطعيم او تركيز الشوائب يمكن ان تحسب بدراسة العلاقة بين سعة البوابة والفولتية المسلطة حيث ان سعة البوابة يمكن ان تعطى بالعلاقة الاتية (7,8):

$$C_o = \frac{\epsilon_s \epsilon_o A}{d} \quad (4-8)$$

حيث ان ϵ_s : سماحية شبه الموصل

ϵ_o : سماحية الفراغ

A: مساحة متسعة البوابة .

d : سمك العازل (الأكسيد)

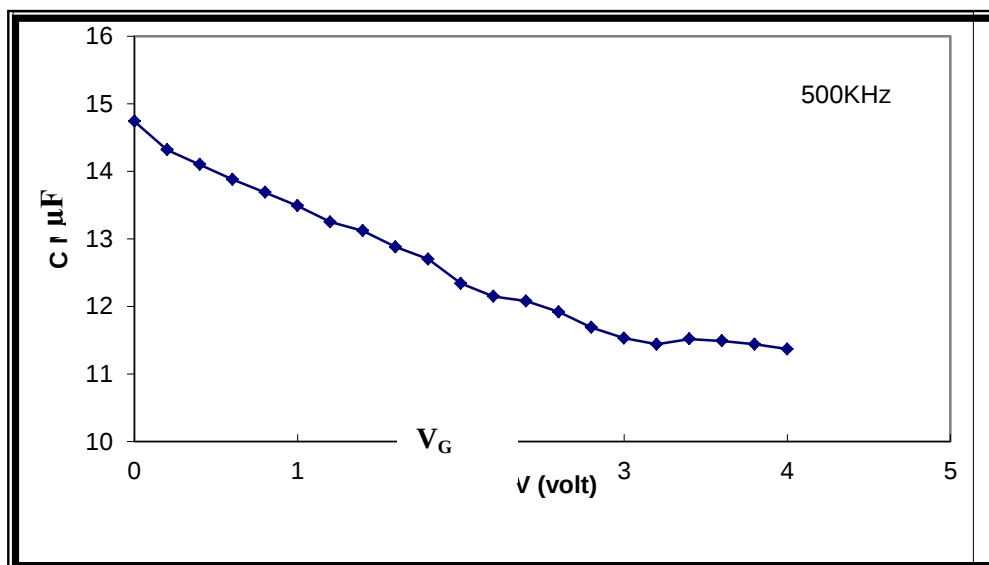
ان متسعة معدن - اوكسيد - شبه موصل MOS اكثر تعقيداً، وذلك بسبب اعتماد الطبقة السطحية من شبه الموصل على الفولتية المسلطة . ان سعة متسعة الـ MOS في حالة الحاملات في منطقة النضوب يمكن ان تكتب بالشكل الاتي (7,9):

$$C = A \left(\frac{q\epsilon_s N_d}{2} \right)^{1/2} V_G^{-1/2}$$

أو

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2}{q\epsilon_s N_d A^2} V_G \quad (4-9)$$

حيث ان N_d هو تركيز الشوائب (مدى التطعيم) .



الشكل (8) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 100 KHz في حالة الانحياز العكسي .

(10) حيث وجد ان تركيز الشوائب (التطعيم) يساوي $N_d = 4.72 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

وهذه النتيجة متفقة مع ما حصل عليه (Abbas et.al)⁽⁷⁾ والباحث (Das)⁽¹⁰⁾ والباحث (Brotherton)⁽¹¹⁾.

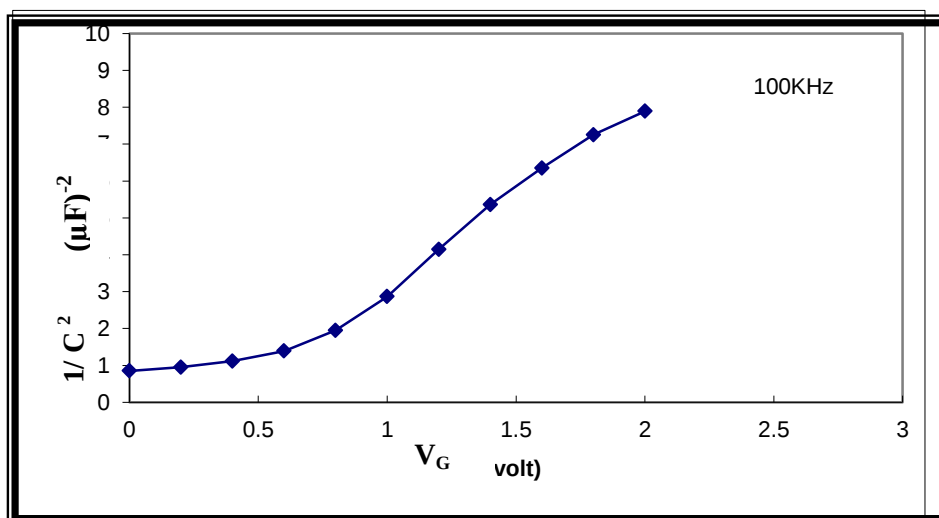
والشكل (10) يبين علاقة السعة وفولتية البوابة للنبيطة المصنعة عند التردد (200KHz)، حيث نلاحظ انخفاض قيمة السعة بشكل عام وانخفاضها بزيادة فولتية الانحياز المسطرة .

ان سلوك منحنى السعة – الفولتية للنبيطة المصنعة يتفق مع ما حصل عليه الباحثان (Das)⁽¹⁰⁾ والباحث (Brotherton)⁽¹¹⁾.

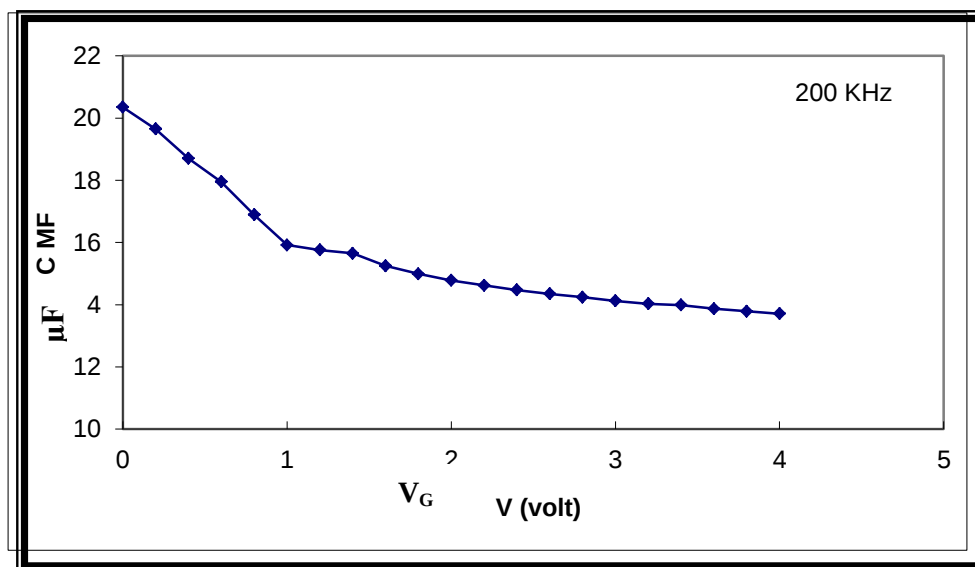
ومن الجزء الخطي لمنحنى العلاقة بين $1/C^2$ و V_G

الموضحة بالشكل (9)، نجد الميل $\left(\frac{d}{dV_G} \frac{1}{C^2} \right)$ الذي

يستعمل لحساب تركيز التطعيم بمساعدة المعادلة (4)



الشكل (9) تغير $1/C^2$ مع V_G عند التردد 100KHz في حالة الانحياز العكسي .



الشكل (10) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 200KHz في حالة الانحياز العكسي .

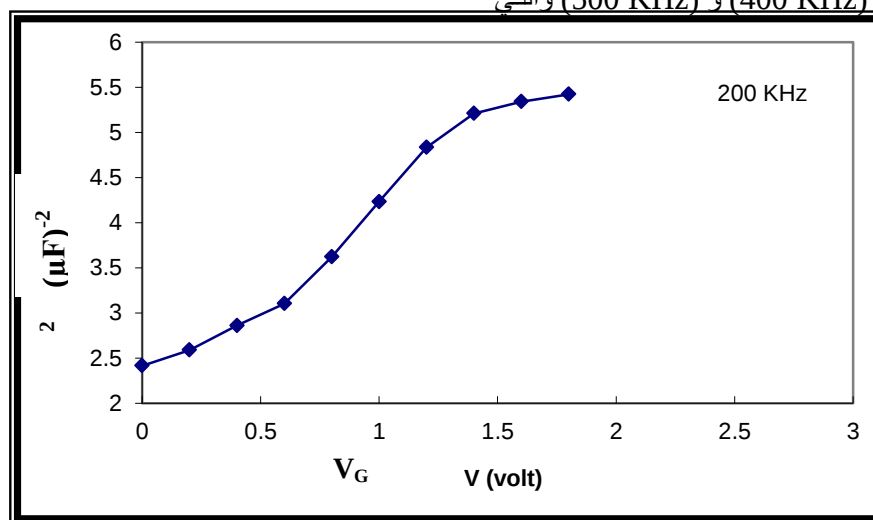
تكون ممثله بخط مستقيم ايضاً يدل على ان التطعيم منتظماً ومن خلال ميل الخط المستقيم يمكن حساب كثافة التطعيم بالرجوع الى المعادلة (4-10) ايضاً .

ومن خلال الاشكال (8) و(10) و(12) و(14) نلاحظ اعتماد السعة على التردد بدرجة كبيرة ، حيث تتناقص قيمة السعة بزيادة التردد وتكون قيمة السعة الاكبر عند التردد (100 KHz) وتكون قيمتها الاقل عند التردد (500 KHz) ، وذلك لاعتماد السعة في حالة الانقلاب على زمن استجابة الحاملات الاقلية ، وفي هذه المنطقة منطقة الانقلاب تكون السعة محددة في قابلية الحاملات الاقلية في مواكبة المجال الكهربائي في حالة الترددات العالية ، وان الاستجابة الترددية واطئة جداً وهي ناتجة عن عملية التولد والاتحاد الحرارية للحاملات الاقلية ولهذا تنخفض السعة عند قيمتها الدنيا (1,9)

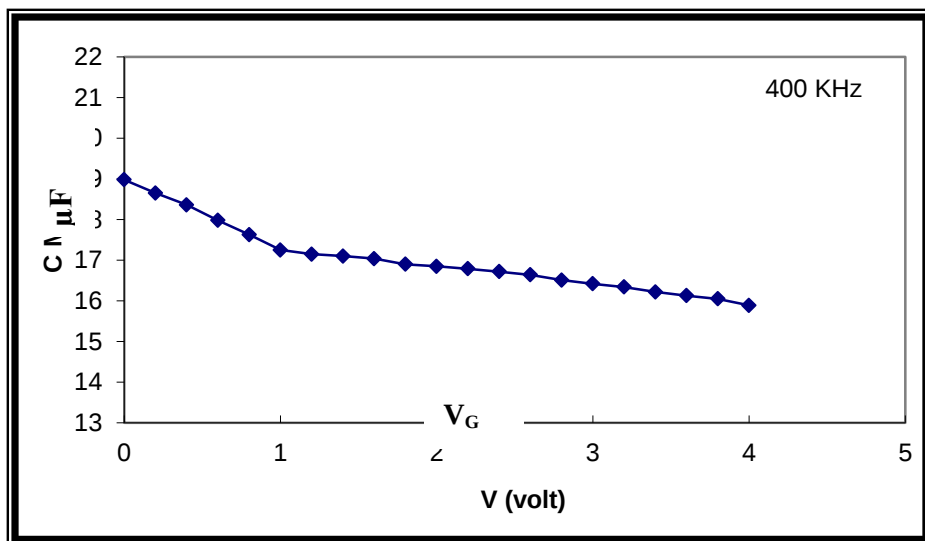
ويبين الشكل (11) علاقة $1/C^2$ مع V_G عند التردد 200 KHz والتي تمثل بخط مستقيم الذي يدل على ان التطعيم منتظم ومن خلال ميله يمكن حساب تركيز التطعيم ايضاً.

وتبين الاشكال (12) و(14) علاقة السعة للترانزستور MOSFET المصنع مع فولتية الانحياز العكسي المسلطة على البوابة V_G عند التردد (400 KHz) و (500 KHz) ، ويتبين من خلال الاشكال ان قيمة السعة تنخفض بزيادة الفولتية المسلطة ، وذلك لان تسليط فولتية الانحياز العكسي تؤدي الى استنزاف السطح وتكوين منطقة النضوب وانقلاب سطح شبه الموصل مما يؤدي الى انخفاض سعة النبيطة ووصولها الى قيمتها الدنيا عند حصول حالة الانقلاب الشديد لسطح شبه الموصل .

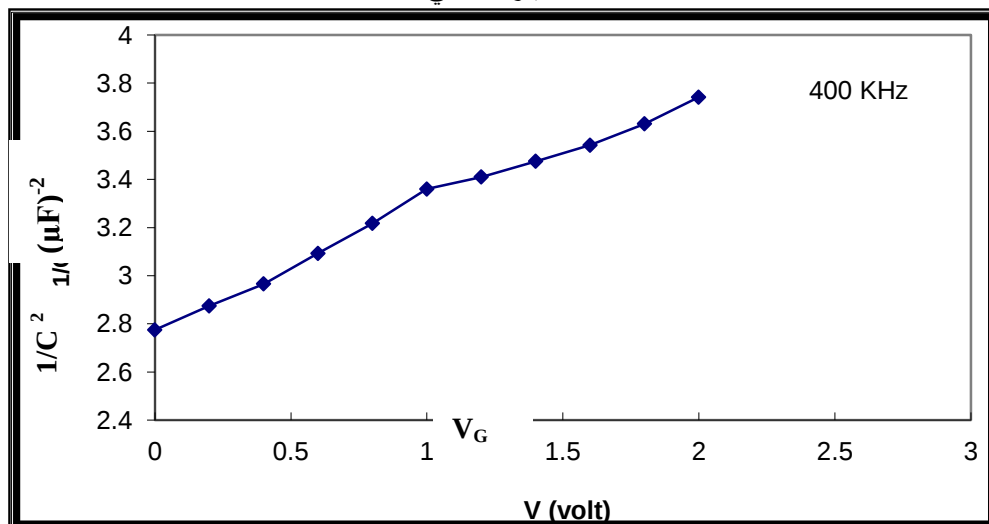
وتبين الاشكال (13) و(15) العلاقة بين $1/C^2$ و V_G عند التردد (400 KHz) و (500 KHz) والتي



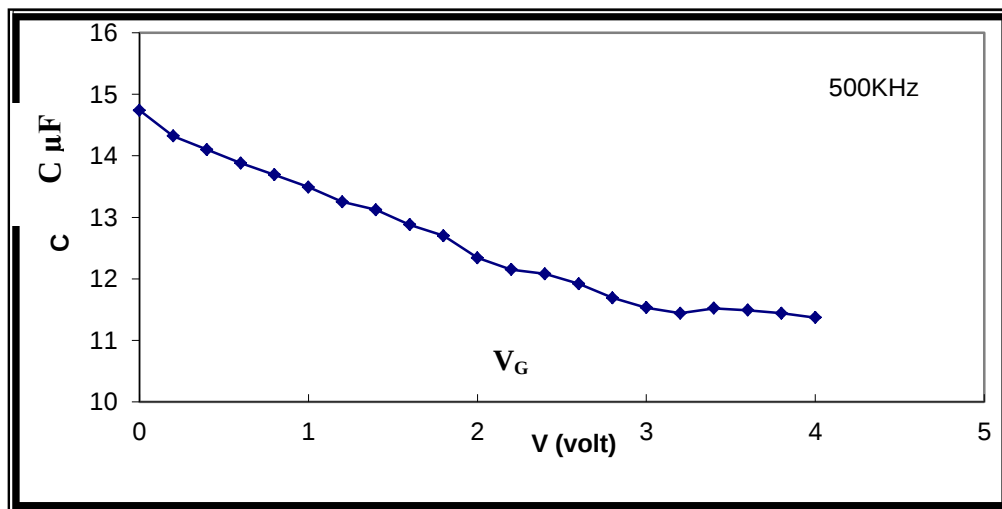
الشكل (11) تغير $1/C^2$ مع V_G عند التردد 200KHz في حالة الانحياز العكسي.



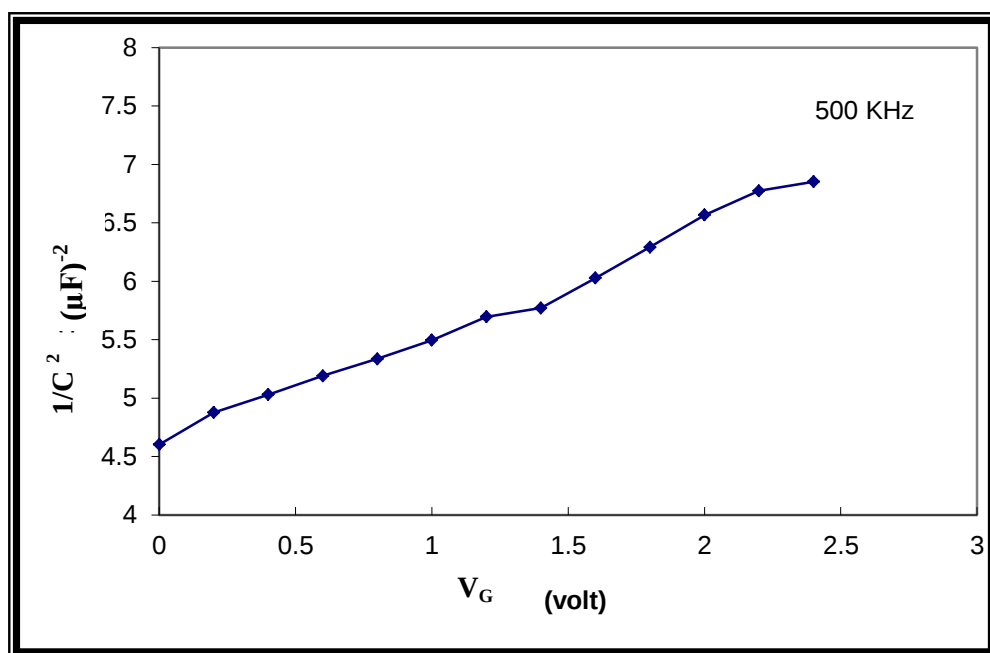
الشكل (12) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 400KHz في حالة الانحياز العكسي.



الشكل (13) تغير $1/C^2$ مع V_G عند التردد 400KHz في حالة الانحياز العكسي .



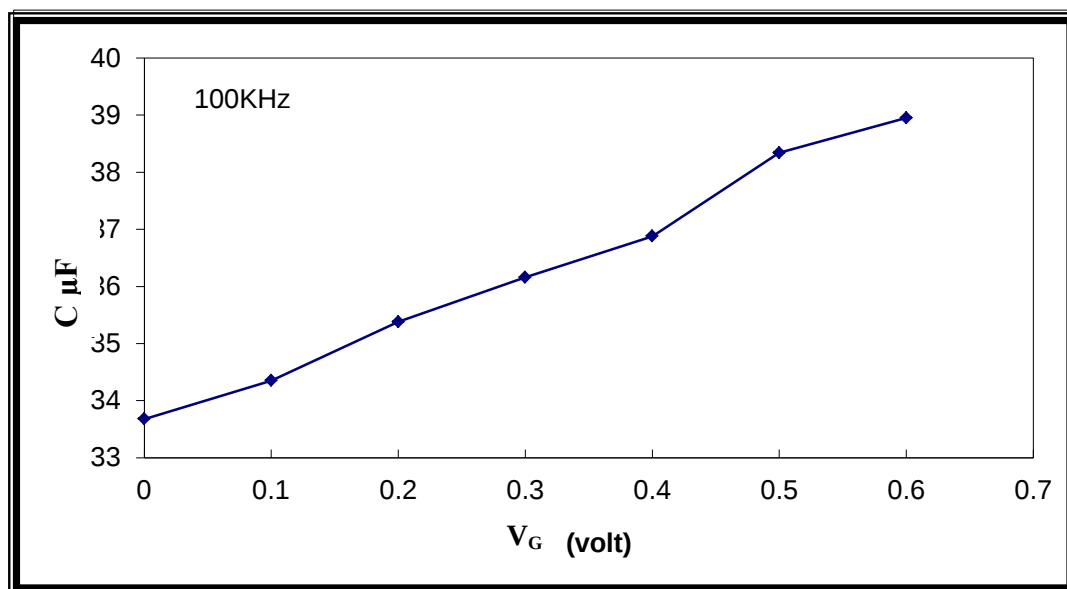
الشكل (14) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 500KHz في حالة الانحياز العكسي.



الشكل (15) تغير $1/C^2$ مع V_G عند التردد 500KHz في حالة الانحياز العكسي .

ثانيا: مميزات السعة – الفولتية في حالة الانحياز الامامي:

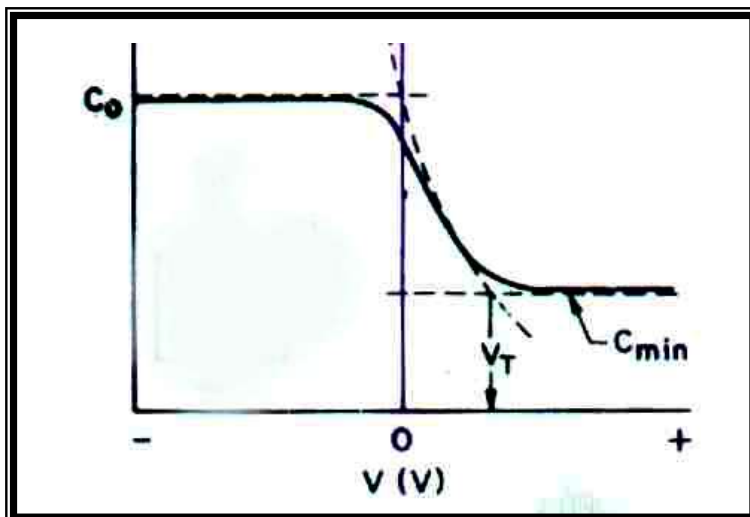
يوضح الشكل (16) مميزات السعة – الفولتية حالة الانحياز الامامي للنبية المصنعة عند التردد 100 KHz ، ونلاحظ من خلال الشكل أن السعة الامامية للنبية تزداد بانتظام مع زيادة فولتية الانحياز المسلطة. حيث بتسليط أنحياز أمامي تتجمع الفجوات عند سطح شبه الموصل وتزداد كثافتها بصورة أكبر من كثافتها في متن شبه الموصل وذلك بزيادة فولتية الانحياز الامامي ، وتكون السعة الكلية مقاربة لسعة الاوكسيد ϵ_{ox}/d .



الشكل (16) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 100KHz في حالة الانحياز الامامي.

يبين منحنى السعة – الفولتية لتركيب MOS عند الانحياز الامامي والعكسي .

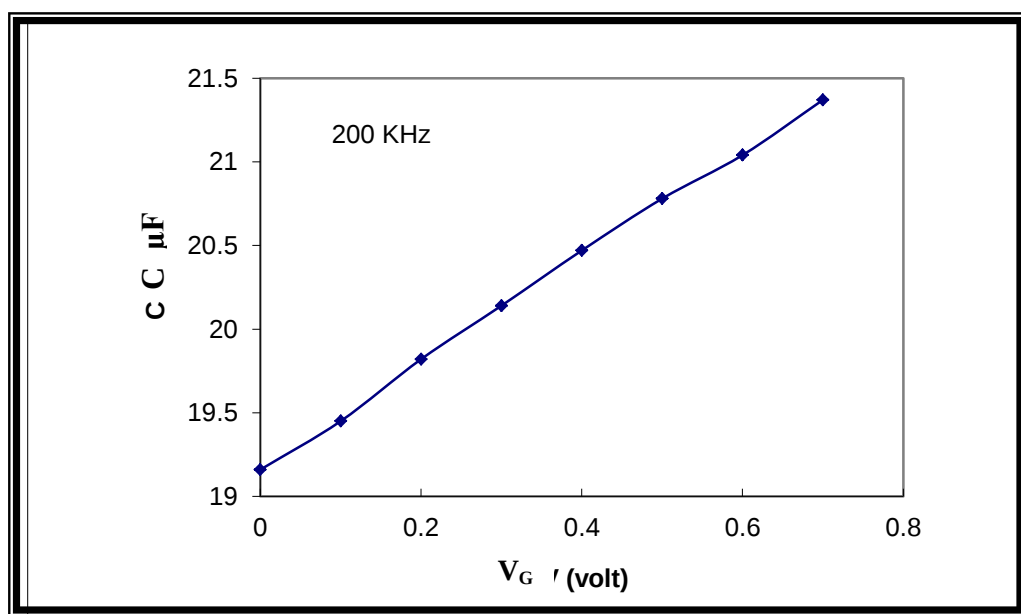
ان طبيعة مميزات السعة – الفولتية للانحياز الامامي للترانزستور MOSFET مشابهة لطبيعة مميزات السعة – الفولتية لتركيب MOS^(1,12) . والشكل (17)



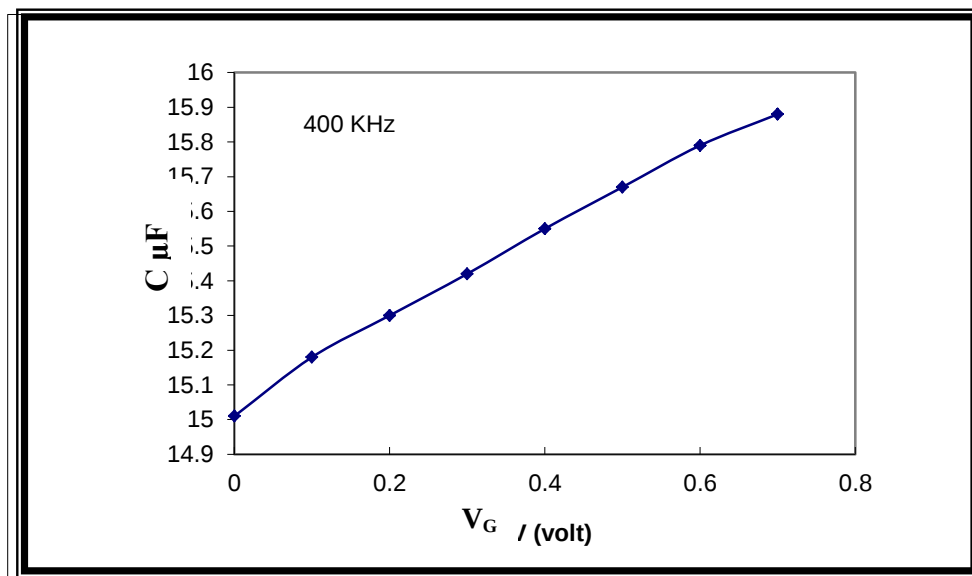
الشكل (17) منحنى السعة – الفولتية لتركيب MOS⁽⁸⁾ .

ونلاحظ من خلال الأشكال أن سلوك السعة فيها مشابه لما هو عند التردد (100 KHz) ، ونلاحظ أيضاً أن قيمة السعة عند زيادة التردد تنخفض كما هو الحال في حالة الانحياز العكسي ويعود السبب في ذلك لاعتماد السعة على زمن استجابة الحاملات في سطح شبه الموصل وقابليتها في مواكبة التغير في المجال الكهربائي عند الترددات العالية.

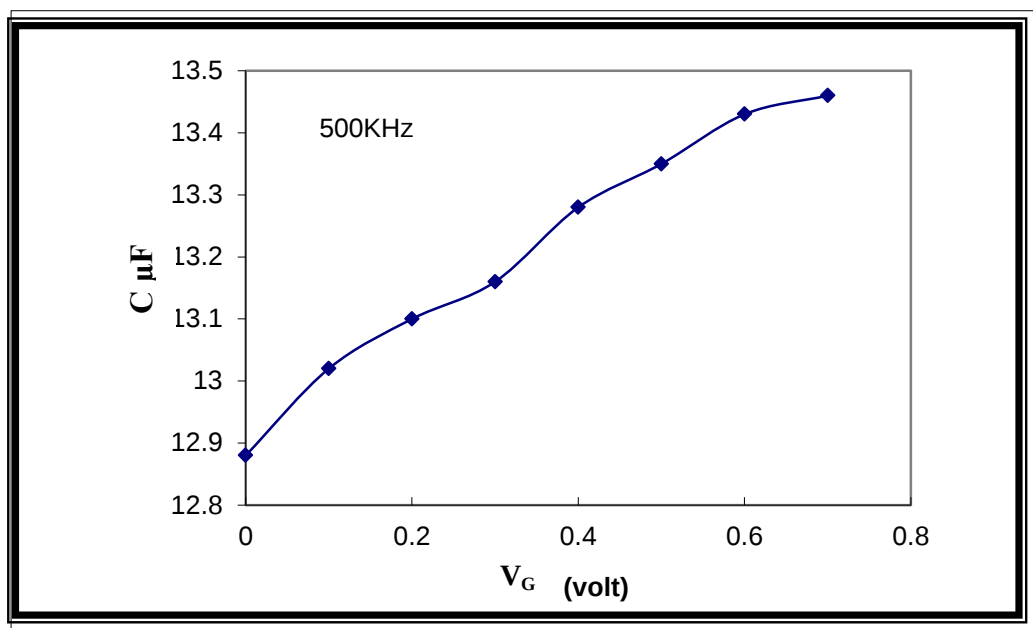
والاشكال (18)، (19)، (20) تبين مميزات السعة – الفولتية للنبيطة المصنعة في حالة الانحياز الامامي عند الترددات (200 KHz) ، (400 KHz) ، (500 KHz).



الشكل (18) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 200KHz في حالة الانحياز الامامي.



الشكل (19) مميزات السعة – الفولتية (C-V) للترانزستور n-MOSFET عند التردد 400KHz في حالة الانحياز الامامي.



الشكل (20) مميزات السعة – الفولتية للترانزستور n-MOSFET عند التردد 500KHz في حالة الانحياز الامامي.

النتائج أن السعة تنخفض بزيادة تردد التيار المسلط في المدى من 100KHz الى 500KHz .
 ب- أظهرت نتائج مميزات السعة – الفولتية (C-V) في حالة الانحياز الامامي أن السعة تزداد بزيادة فولتية البوابة وتكون السعة الكلية مقاربة لسعة الاوكسيد C_{ox} . وهذا يتفق مع السلوك النظري لتركيب MOS المثالي. كما أظهرت هذه النتائج أن السعة

أ- أظهرت نتائج مميزات السعة – الفولتية (C-V) في حالة الانحياز العكسي أن سعة النبيتة المصنعة تنخفض بزيادة فولتية البوابة V_G ، وتصل الى حالة التشبع عند أقل قيمة لها C_{min} ، كما أظهرت هذه

4 - الاستنتاجات:

6- E.C.Doglas," Advanced process technology for VLSI circuits ", Solid State Technol. , Vol.2, No.5 , 1981 , pp. 65-73 .

7- E.M.Abbas, M.A.Mohammad, N.M.Abbas, "Improved characteristics of annealed amorphous Si_{0.1} Ge_{0.9} insulated gate thin film transistor (IGFET)", 2000, un published.

8- A.Levinson, J.Shepherd, F.R.Scanton, P.J.Westwood, J.Appl.Phys. , Vol.8, 1982, pp.1193-1198.

9- قحطان نوفان عبد الله ، " تصنيع ودراسة الخواص الكهربائية لنماذج معدن – أكسيد – شبه موصل MOS " ، رسالة ماجستير ، الجامعة المستنصرية ، 2001 .

10- M.B.Das , " Dependence of the characteristics of MOS- transistor on the substrate resistivity " , Solid state electronics , Pergamon press , Vol.11 , 1968 , pp.305-322 .

11- S.D. Brotherton , " Dependence of MOS transistor threshold voltage on substrate resistivity " , Solid state electronics , Pergamon press , Vol.10 , 1967, pp.611-616 .

12- A.S.Grove , " Physics and technology of semiconductor devices " , Wiley , New York , 1967 .

تنخفض بزيادة تردد التيار المسلط في المدى 100KHz الى 500KHz.

المصادر : References

1- أس. أم.زي، " نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية " ، ترجمة فهد غالب حياتي وحسين علي أحمد ، جامعة الموصل ، 1990 .

2- K.Ng. Kowk, "Complete guide to semiconductor devices", McGraw –Hill, Inc., New York, 1995.

3- E.S.Yang , " Microelectronics ", McGraw-Hill book Co., Singapore , 1986 .

4- أطراف صبحي الرواس ، " تأثير الاشعاع على نبائط حاجز شوتكي لأرسنيد الكالسيوم " ، أطروحة دكتوراة ، كلية التربية ، جامعة الموصل ، 1999 .

5- R.K. Watts, J.H.Bruning, "A review of fine-line lithographic techniques: present and future " , Solid State Technol., Vol. 24, No.5, 1981, pp.99-108.