

تصنيع ودراسة مميزات التيار- الفولتية (I-V) لترانزستور تأثير  
المجال معدن- أوكسيد- شبه موصل MOSFET

عادل حبيب عمران\* أحسان محسن عباس\*\*

ياسين نجم عبيد\*\*\* أطياف صبحي الرواس\*\*\*\*

نعيمه هادي علي\*

\* جامعة الكوفة – كلية العلوم

\*\* وزارة العلوم والتكنولوجيا

\*\*\* الجامعة المستنصرية – كلية العلوم

\*\*\*\* جامعة الموصل – كلية طب الاسنان

الخلاصة :-

يتضمن البحث تصنيع ترانزستور تأثير المجال معدن – أوكسيد – شبه – موصل MOSFET بطريقة الطبع الضوئي ودراسة مميزات التيار – الفولتية (I-V) وحساب بعض المتغيرات الفيزيائية له .الترانزستور المصنع بأستعمال السليكون الموجب (p-type Si) ذي قناة من نوع n – (nMOSFET) طولها  $L = 50\mu\text{m}$  وعرضها  $Z = 1000\mu\text{m}$  . أظهرت النتائج أن مميزات الاخراج للترانزستور ( $I_D-V_D$ ) ومميزات الانتقال ( $I_D-V_G$ ) تتفق مع السلوك النظري للترانزستور ، وأنه من النوع المفتوح عادة ( normally – on ) النضوب deletion وأن جهد الخنق له يساوي 4 volt - .

The development and studies the current – voltage (I-V) characteristics  
for the metal- oxide-semiconductor  
field- effect transistor MOSFET

Adel H.AL-Kiat \*

Y.N.Obaid\*\*\*\*

E.M.Abass \*\*

A.S.Al-Rowass \*\*\*\*

Naeema Hadi Ali \*

\* Collge of science AL-Kufa University

\*\* Minstry of science and tecnology

\*\*\* Collge of science AL-Mustansiriya University

\*\*\*\* Collge of teeth medicine AL-mousel University

Abstract :

This paper contain the preparation of metal-oxide- semiconductor field- effect transistor MOSFET by using the lightography technique. In this work we studied (I-V) characteristics and also some physical variables for transistor calculated. The prepared transistor by using p- type silicon as a substrate has n-type channel (nMOSFET) its length and width equal to  $L=50\mu\text{m}$  ,  $Z = 1000\mu\text{m}$  . The results showed that the output characteristics ( $I_D-V_D$ ) and the trasfer charasteristics ( $I_D-V_G$ ) was in agreement with the theoretical behaviour of the transistor , and the transistor is

from the normally – on type nMOSFET depletion mode , with pinch – off voltage equal to -4 volt .

وعمليات الطبع الضوئي المتضمنة ترسيب الاجزاء المختلفة للترانزستور، وأخيرا إجراء القياسات الكهربائية لمميزات التيار- الفولتية للترانزستور المصنع .

أ- تحضير السطح :  
أستخدم السيلكون من النوع القابل (p-type) ذو الاتجاه البلوري <111> وبسمك (508 μm) كأساس للترانزستور MOSFET .

أجريت عملية تنظيف العينات بوضعها في محلول تراي كلوروأثيلين (TCE) بدرجة حرارة 80C<sup>0</sup> لمدة عشر دقائق ، ثم توضع في مجرى ماء معالج أيونيا لمدة عشرة دقائق للتخلص من الملوثات والدهون العالقة على سطح العينات . بعد ذلك توضع العينات في محلول الاسيتون لمدة خمس دقائق ثم تغسل بالماء الايوني . وللحصول على اتصال أومي جيد تم إجراء عملية الازالة الكيميائية للاوكسيد المتكون تلقائيا native oxide على سطح السليكون بوضع العينة في محلول الازالة المحتوي على الهيدروفلوريك HF والماء بنسبة (1:10) (HF:H<sub>2</sub>O) لمدة دقيقة واحدة ، ثم تغسل وتجفف لتصبح جاهزة لعملية الترسيب .

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

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

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

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

## 1- المقدمة :-

يعد ترانزستور تأثير المجال معدن- أوكسيد- شبه موصل MOSFET أهم نبيطة شبه موصلة في الدوائر الالكترونية المتكاملة عالية الكثافة جدا (VLSI) والمستخدمة في الذاكرات شبه الموصلة والمعالجات الدقيقة microprocessors كما أنه يأخذ دوره كنيطة مهمة في تطبيقات القدرة (1,2) ، وينتمي الترانزستور الى المجموعة الرئيسية من النبايط التي تدعى ترانزستور تأثير المجال ذي البوابة المعزولة (IGFET) والذي يمتلك بوابة معزولة كهربائيا عن شبه الموصل بواسطة طبقة عازلة (1,3) .

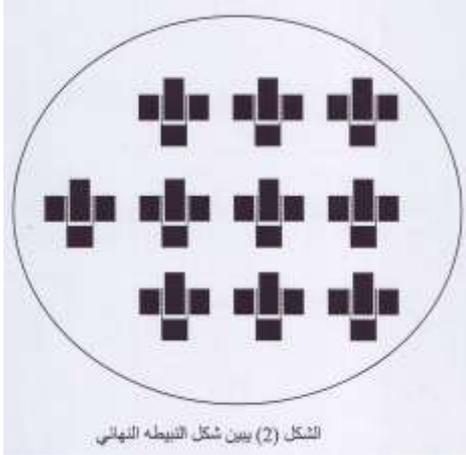
وأصبحت ترانزستورات MOSFET أكثر الترانزستورات شيوعا في الدوائر الالكترونية المتكاملة ICs التجارية بسبب بساطتها وقلّة التكاليف وصغر المساحة والحجم بالاضافة الى قلة القدرة المستهلكة (2,3) ، فتؤدي أبعاد النبيطة دورا مهما في ذلك إذ ركزت الدراسات في السنوات الاخيرة على إمكانية تصغير أبعاد النبيطة الى أقل ما يمكن وتحسين كفاءتها مما تسهم في تقليل التكاليف وبنسبة كبيرة اضافة الى تصغير المكونات الداخلة في تركيبها هذه الترانزستورات .

يهدف البحث الى تصنيع ترانزستور MOSFET بطريقة الطبع الضوئي ودراسة المميزات الأساسية ( التيار- الفولتية) له ، مع حساب بعض المتغيرات الفيزيائية للترانزستور كجهد الخنق وتحركية تأثير المجال وكثافة قوائم السطح البيني .

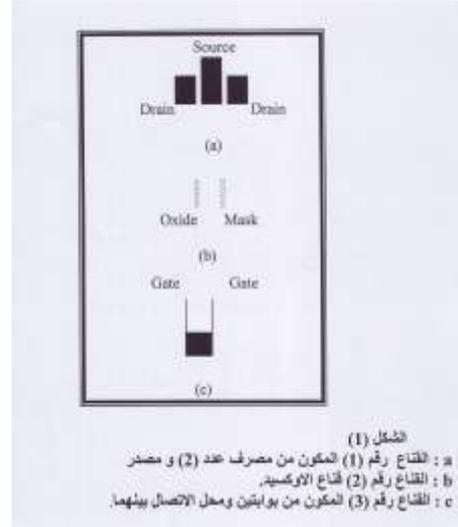
## 2- الجزء العملي :-

يتضمن الجزء العملي ثلاث عمليات رئيسة لتصنيع الترانزستور وهي تهيئة السطح أو العينة بعمليات التنظيف والازالة ، وتصميم الاقنعة الضوئية ،

الاشكال (5,4,3) والتي تدعى بتقنية الرفع lift-off technique<sup>(1,4)</sup> التي يمكن وصفها كالآتي :



أن أجزاء الترانزستور MOSFET من المصدر والمصرف وطبقة الاوكسيد واليواية يمكن تحديدها بأستعمال مادة المقاوم الضوئي photorissist ، وأن تقنية الطبع الضوئي تستخدم لترك طبقة من المقاوم الضوئي على سطح شريحة السليكون قبل إجراء عملية الترسيب ، ولهذا الغرض نستعمل مادة المقاوم الضوئي الموجب نوع 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 بسرعة) لمدة 40 sec ، ثم يتم إدخال الشريحة مباشرة في فرن منظم عند درجة حرارة  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ولمدة 20 min ، بعد ذلك تعرض الشريحة اشعة فوق البنفسجية ذات طول موجي بحدود 0.2- 0.4  $\mu\text{m}$  من خلال القناع الضوئي الاول الذي يثبت فوق الشريحة ويتماس محكم لمدة 15 min كما مبين في الشكل (3a) . وبأستعمال محلول أظهار يحتوي على NaOH وماء أيوني تعامل العينة لغرض إزالة مادة المقاوم الضوئي المتعرض للاشعة كما في الشكل (3b,c) ، عندئذ تعاد عملية التسخين داخل الفرن لمدة 40 min وعند درجة حرارة  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  . وقبل عملية ترسيب الاتصال المعدني للمصدر والمصرف أجريت عملية الازالة الكيمياوية بأستخدام محلول الازالة المشار اليه سابقا . بعد ذلك تم ترسيب سبيكة ذهب- جرمانيوم بنسبة 88% ذهب و 12% 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 فوقة تاركا غشاء سبيكة الذهب- جرمانيوم على سطح السليكون<sup>(2,4,5,6)</sup> كما مبين في الشكل(3d).



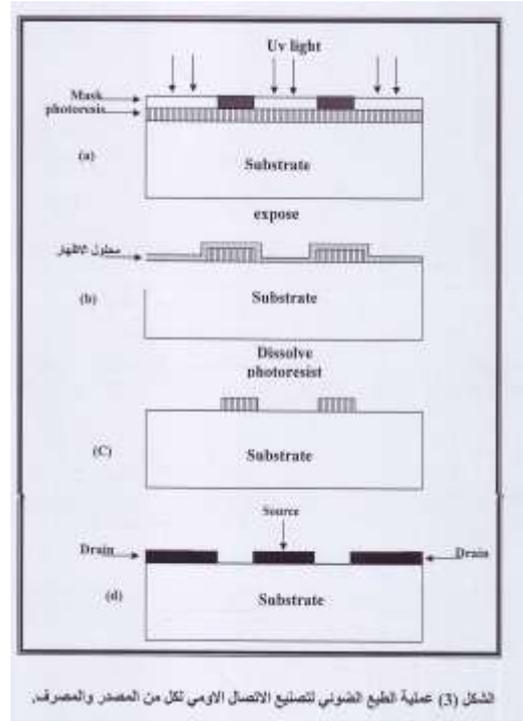
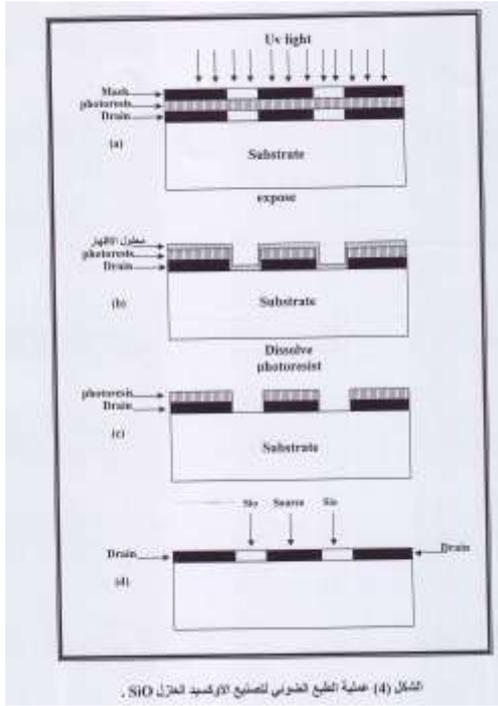
وللحصول على نبيطة ذات أبعاد دقيقة يتم رسم هذه التصاميم للاقنعة اعلاه بأستخدام حاسوب متطور ، ولغرض الحصول على أكثر من نبيطة في وقت واحد نعمل الى تكرار التصاميم وبنفس المواصفات بالضبط وبأستخدام الحاسوب أيضا ، حيث يتم الحصول على عدد كبير من الاقنعة المتماثلة ضمن مساحة محددة ولكل قناع على حدة. بالنتيجة النهائية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

تستخدم الاقنعة الثلاثة وبصورة متعاقبة للحصول على أجزاء النبيطة بعمليات متسلسلة وبطريقة الطبع الضوئي ، وللحصول على درجة تطابق عالية نعمل الى وضع علامات على أطراف الاقنعة الثلاثة وبنفس المواقع بأستخدام الحاسوب ايضا لنضمن تطابق مواقع الاقنعة الثلاثة والتي نحصل منها بالتعاقب على المصدر والمصرف أولا ثم الاوكسيد واليواية وكل جزء في موقعة بالضبط ليكون الناتج بعد عمليات الطبع الضوئي والترسيب هو نبيطة صالحة للعمل والفحص والشكل (2) يبين شكل النبيطة النهائي وبعد عمليات التكرار للاقنعة الثلاث.

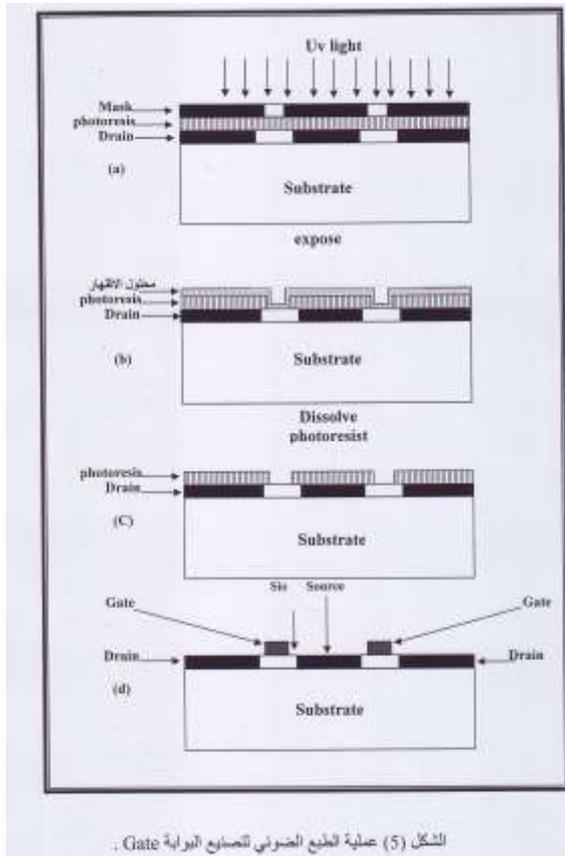
بعد ذلك تنقل هذه التصاميم للاقنعة الثلاثة على ورق شفاف بأستخدام الراسم الليزري laser ploter ومن ثم على لوح فتوغرافي شفاف مع مراعاة شروط النظافة التامة .

ج - عمليات الطبع الضوئي:

عملية الطبع الضوئي تستخدم لتحويل صفات القناع الضوئي الى سطح شبة الموصل ، ولتصنيع ترانزستور تأثير المجال MOSFET نحتاج الى إجراء ثلاث عمليات طباعة ضوئية وهذه العمليات موضحة في



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).



وبنفس الطريقة تم إجراء عملية الطبع الضوئي الثانية لتصنيع وترسيب طبقة الأوكسيد العازلة ، حيث 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 بالأوكسيد 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 أوكسيد السليكون العازلة SiO<sub>2</sub> على سطح العينة . ثم تغمر العينة في محلول الاسيتون لمدة 24 hr لازالة المقاوم الضوئي الفائض مزيلا معه الأوكسيد فوقه تاركا الغشاء المطلوب من أوكسيد 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 الأولى والثانية) بمادة المقاوم الضوئي بنفس الطريقة اعلاه وتجفف وتعرض الى الاشعة فوق البنفسجية من خلال القناع الضوئي الثالث الخاص بالبوابة بنفس الطريقة أيضا ، وبأستعمال محلول 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 أوكسيد السليكون لتصنيع البوابة ، بعد عملية الترسيب الاخيرة تغمر العينة

3- النتائج والمناقشة :-

الشكل (8) يبين مميزات الاخراج ( $I_D-V_D$ ) للترانزستور المصنع عند قيم مختلفة لفولتية البوابة  $V_G$  ، حيث يتغير تيار المصرف  $I_D$  في البداية خطيا مع فولتية المصرف  $V_D$  ، فعند تسليط فولتية صغيرة عند المصرف تسري الالكترونات من المصدر الى المصرف خلال القناة الموصلة وتعمل القناة فعل المقاومة ويتناسب تيار المصرف مع فولتية المصرف وهو ما يمثل الجزء الخطي من منحنى الخواص ، ثم يبدأ تيار المصرف بالوصول الى قيمة الاشباع وتبقى قيمته ثابتة بزيادة فولتية المصرف حيث يقلص عرض الطبقة المنقبة الى الصفر عند منطقة الاختناق pinch-off point كما في الشكل (9b) أذ أن عدد الحاملات الواسلة الى النقطة  $p$  وكذلك التيار الذي يسري من المصرف الى المصدر يبقى نفسه ويبقى تيار المصرف بعد النقطة  $p$  كما هو حيث تصل قيمته الى قيمة الاشباع  $I_{Dsat}$  عند قيم  $V_D > V_{Dsat}$  ، وهذا الجزء من المنحني يمثل منطقة الاشباع saturation region . وعند مقارنة منحنيات الاخراج ( $I_D-V_D$ ) مع المنحنيات المثالية للـ MOSFET نلاحظ زحف المنحنيات نحو اليسار قليلا ، وقد يعود ذلك الى ظروف التصنيع التي لا يمكن فيها تحقق الشروط المثالية للمميزات الأساسية للترانزستور ، وكذلك الى وجود قوائص السطح البيني Si-SiO<sub>2</sub> وشحنات الاوكسيد بأنواعها المختلفة وغير مرغوب فيها . ومن خلال مقارنة منحنيات الاخراج للترانزستور المصنع وعدد من البحوث نلاحظ أن سلوك هذه المنحنيات متفق مع سلوك المنحنيات التي حصل عليها الباحثان Hofstein و Heiman<sup>(7)</sup> .

ونلاحظ أيضا من الشكل (8) وجود قيم لتيار المصرف عند عدم تسليط فولتية على البوابة  $V_G=0$  مما يدل على أن الترانزستور المصنع هو من النوع المفتوح عادة nMOSFET depletion mode (normally-on) .

الشكل (10) مميزات الانتقال (التحويل) transfer characteristics ( $I_D-V_G$ ) عند قيم معينة لفولتية المصرف  $V_D$  ، نلاحظ من الشكل أن تيار المصرف يزداد بزيادة فولتية البوابة عند ثبوت فولتية المصرف . ونلاحظ أيضا أنه عند  $V_D=0$  يمكن جعل جهد البوابة سالبا الى الحد الذي ينقطع فيه تيار المصرف والجهد اللازم لقطع التيار يدعى بجهد الخنق pinch-off voltage ، حيث تتناقص كثافة الالكترونات في القناة عندما يكون جهد البوابة سالبا وتم الحصول على قيمة جهد الخنق من خلال الشكل (11) والذي يساوي  $(V_p = -4 \text{ volt})$  . أن جهد الخنق للترانزستور العامل بسياق النضوب هو نفسه جهد العتبة  $V_{Tn}$  للترانزستور<sup>(1,3)</sup> ، أن قيمة جهد الخنق التي حصلنا عليها تتفق مع ما حصل عليه الباحثان Hofstein و Heiman<sup>(7)</sup> .

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

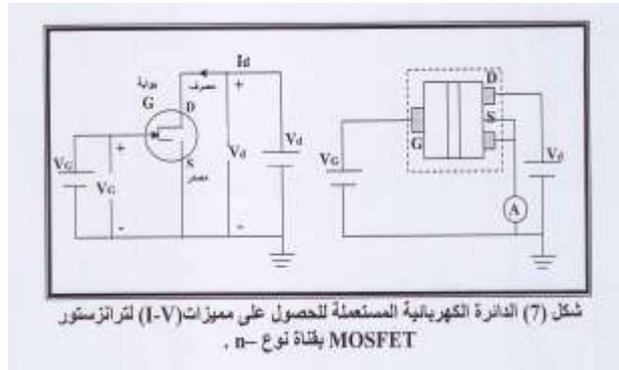
(Blazer 510 BZ system) . الشكل (6) يوضح المخطط الانسيابي لعمليات الطبع الضوئي الأساسية .



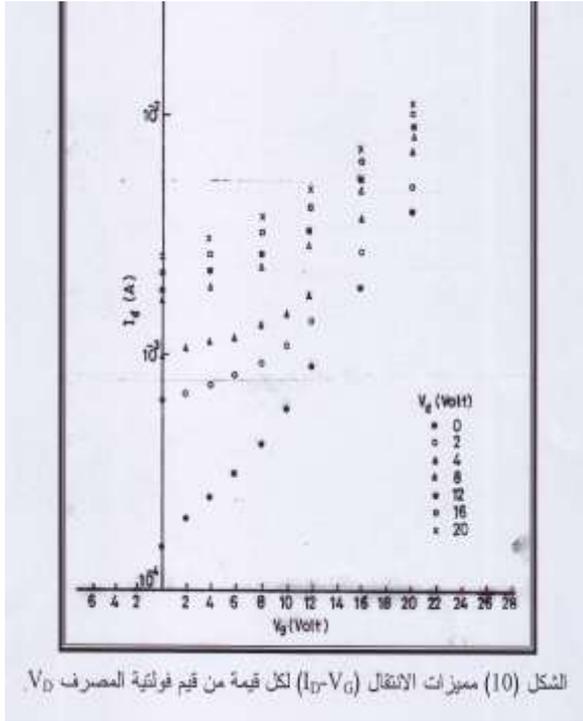
الشكل (6) المخطط الانسيابي لعمليات الطبع الضوئي الأساسية.

د- القياسات العملية :

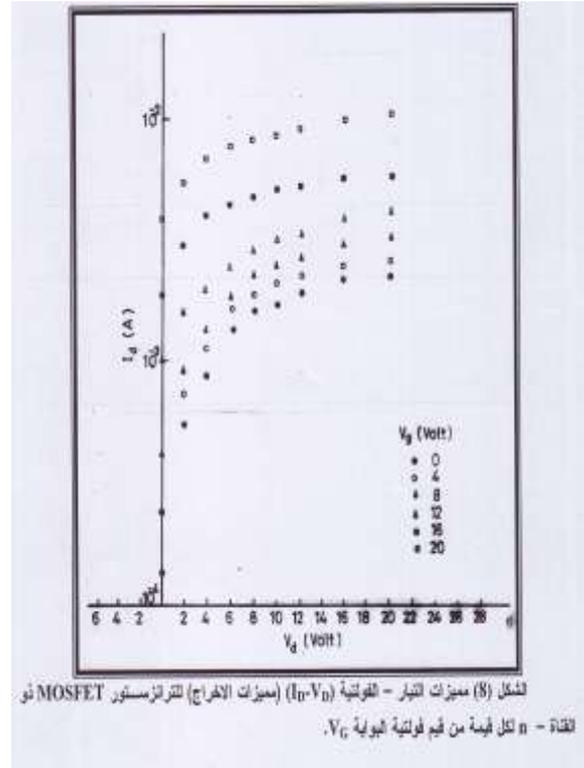
أجريت قياسات التيار- الفولتية للترانزستور بعد ربطه بالدائرة الكهربائية الخاصة بدراسة مميزات التيار- الفولتية لترانزستور تأثير المجال معدن - أوكسيد- شبه موصل والمبينة في الشكل (7) . تم قياس تيار المصرف  $I_D$  بأستخدام جهاز الاميتر نوع Keithly 177, DMM وحسب الفولتية المسلطة من مصادر التجهيز على البوابة  $V_G$  وعلى المصرف  $V_D$  .



شكل (7) الدائرة الكهربائية المستعملة للحصول على مميزات ( $I-V$ ) لترانزستور MOSFET بقناة نوع -n .



الشكل (10) مميزات الانتقال ( $I_D-V_G$ ) لكل قيمة من قيم فولتية المصدر  $V_D$ .



الشكل (8) مميزات التيار - الفولتية ( $I_D-V_G$ ) (مميزات الإخراج) للترانزستور MOSFET ذو

القناة - n لكل قيمة من قيم فولتية البوابة  $V_G$ .

وتم حساب تحركية تأثير المجال  $\mu_{FE}$  للترانزستور المصنع باستخدام العلاقة الآتية :

$$\mu_{FE} = (d / \epsilon_s V_D)(L / Z)(\partial I_D / \partial V_G) \quad (1)$$

ولقيمة معينة لفولتية المصدر ( $V_D=2$  volt) حيث أن تحركية تأثير المجال تمثل التغير في توصيلية السطح بدلالة جهد البوابة لكل وحدة مساحة وأنها لا ترتبط بحركة مجموعة معينة من الشحنات ، فمن خلال الشكل (10) تمثل ( $\partial I_D / \partial V_G$ ) ميل الجزء المستقيم من المنحني و  $\epsilon_s$  سماحية شبه الموصل و  $d$  سمك الاوكسيد ويساوي  $500\mu m$  حصلنا على تحركية تأثير المجال وتساوي  $\mu_{FE} = 625 \text{ cm}^2/\text{v.s}$  وهذه القيمة متفقة مع ما حصل عليه الباحث (Hori)<sup>(9)</sup>.

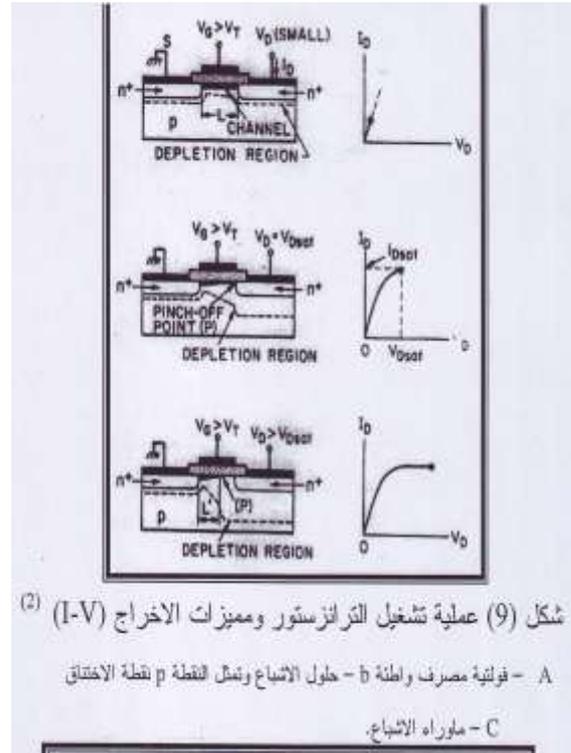
بأستخدام نموذج (Levinson et.al)<sup>(10)</sup> يمكننا حساب كثافة قوائص السطح البيني ( $N_t$  (Si-SiO) ويمكننا أيضا مقارنة النتيجة العملية التي حصلنا عليها لـ  $\mu_{FE}$  مع القيمة النظرية وحسب النموذج المذكور وبأستخدام العلاقة الآتية :

$$I_D = (Z/L) \mu_{FE} C_o V_D \exp(-q^3 N_t^2 t / 8 \epsilon_s KTC_o V_G) \quad (2)$$

حيث تمثل  $C_o$  سعة البوابة (سعة المتسعة بين البوابة والقناة) ،  $t$  سمك شبه الموصل .

والشكل (12) يبين العلاقة بين  $I_D$  كدالة لـ  $V_G$  بصيغة  $\ln(I_D/V_G)$  مع  $1/V_G$  وعند قيمة صغيرة لفولتية المصدر  $V_D=2$  volt حيث أن :

$$\ln(I_D/V_G) = \ln[(Z/L) \mu_{FE} V_D C_o] - \{q^3 N_t^2 t / 8 \epsilon_s KTC_o V_G\} \quad (3)$$



شكل (9) عملية تشغيل الترانزستور ومميزات الإخراج ( $I-V$ ) (2)

A - فولتية مصدر واطئة b - طول الانتاج وتمثل النقطة p نقطة الاختناق

C - مولء الانتاج.

ومن المعادلة (4) حصلنا على قيمة كثافة قوائص السطح البيئي والتي تساوي  $(N_t = 4.709 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3})$  . وهذه القيمة متوافقة مع ما حصل عليه الباحث (Deal) (11) والباحث (Wordeman) (12) .

أن تقاطع المستقيم مع المحور العمودي في الشكل (11) يساوي :

$$\text{Intercept} = \ln [ ( Z/L) \mu_{FE} V_D C_0 ] \quad (5)$$

حيث حصلنا من خلال المعادلة (5) على قيمة تحركية تأثير المجال  $\mu_{FE}$  وكانت مساوية  $(\mu_{FE}=656 \text{ cm}^2/\text{V.s})$  وهي مقاربة لما حصلنا عليه من خلال الشكل (9) .

#### 4- الاستنتاجات :-

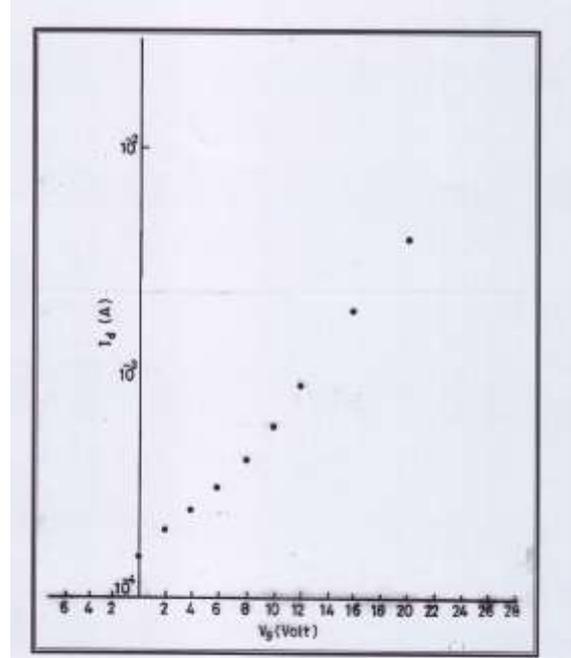
من خلال النتائج العملية لمميزات التيار- الفولتية الاخراج والانتقال للترانزستور المصنع معدن- أوكسيد- شبه موصل MOSFET يعمل في سياق النضوب وذو قناة- طولها  $L= 50 \mu\text{m}$

وعرضها  $Z = 1000 \mu\text{m}$ ، توصلنا الى الاستنتاجات الاتية :

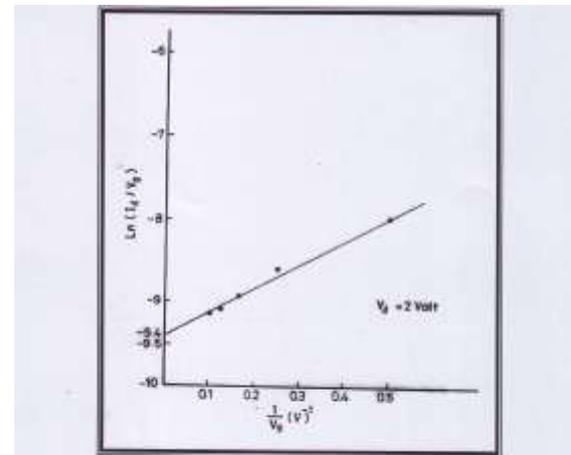
- أن منحنيات الاخراج لمميزات التيار- الفولتية  $(I_D-V_D)$  تظهر وجود منطقتين الاولى المنطقة الخطية والثانية منطقة الاشباع عند كل قيمة من قيم  $V_G$  .
- أظهرت نتائج مميزات الانتقال  $(I_D-V_G)$  عند كل قيمة من قيم  $V_D$  أن تيار المصرف يزداد بزيادة فولتية البوابة ، وعند جعل جهد البوابة سالبا فإن تيار المصرف يتناقص وينقطع عند قيمة معينة لفولتية البوابة تدعى فولتية الخنق  $V_p$  والتي تقابل فولتية العتبة  $V_{Tn}$  .
- أظهرت النتائج أيضا أن قيم تحركية تأثير المجال المحسوبة بطريقتين مختلفتين متفقة مع بعضها ومع بعض الدراسات المنشورة .

ث- أظهرت النتائج أن قيمة كثافة قوائص السطح البيئي المحسوبة بأستخدام نموذج Levinson هي بحدود  $10^{11} \text{ cm}^{-3}$  وهي متوافقة مع نتائج بعض الدراسات المنشورة .

ج- من خلال النتائج وسلوك المنحنيات أعلاه يتبين إمكانية تصنيع ترانزستور تأثير المجال MOSFET وبنجاح وبأستعمال اوكسيد السليكون SiO كعازل للبوابة وبطريقة الطبع الضوئي .



الشكل (11) تغير تيار المصرف مع تغير فولتية البوابة  $V_G$  عند فولتية مصرف  $V_D=0$  .



الشكل (12) تغير  $\ln(I_D/V_G)$  مع  $1/V_G$  عند فولتية المصرف  $V_D=2 \text{ volt}$

الحد الاول من المعادلة (3) يمثل قيمة تقاطع المستقيم مع المحور العمودي في الشكل (12) والحد الثاني هو ميل المستقيم في الشكل (12) والذي يساوي :

$$\text{Slope} = \frac{q^3 N_t^2 t}{8 \epsilon_s K T C_0} \quad (4)$$

7-S.R.Hofstein , F.P.Heiman, " The silicon insulated – gate field – effect transistor " , Proc.IEEE, Vol.51, 1963, pp.1190-1202.

8 - دي . رودي ، " المدخل الى الالكترونيات الدقيقة "، تعريب مازن عبد الحميد كاظم ، الجامعة التكنولوجية ، 1987 .

9-T.Hori, " Inversion layer mobility under high normal field in nitrated-oxide MOSFET " , IEEE transctions of electron devices , Vol.37, No.9 , 1990, pp.2058-2068 .

10-A.Levinson , J.Shepherd , F.R.Scanton , P.J West wood ,J.Appl.Phys. Vol.8 , 1982, pp. 1993-1998 .

11-B.E.Deal ," Standrized terminology for oxide charges associated with thermally oxidized silicon " , IEEE Trans. Electron devices , Vol.27 ,1990, pp. 606-609 .

12-M.R. Wordeman ," The effect of different doping concentration and oxide thichness on the inversion layer electron mobility " , Dectoral dissevtation , Columbia University , New York ,1985.

## References

المصادر :

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

2-E.S.Yang ," Microelectronic devices", MaGraw-Hill Book Co.,Singapore,1986.

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

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

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

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