

الخصائص الكهربائية لرقائق نيتريد السيليسيوم اللامتبلور (a-SiN) بطريقة الرش المهبطي: تأثير الاستطاعة RF.

30/12/2000 - 17/07/1999

ملخص

تستعمل رقائق نيتريد السيليسيوم اللامتبلور (a-SiN) المحضرة تحت درجة حرارة منخفضة بكثرة في ميدان الإلكترونيات الدقيقة. ولملاحظة تأثير الاستطاعة RF على الخصائص الكهربائية لهذه الرقائق، تم ترسيب مجموعة منها تتراوح استطاعة توضعها بين 150 واط و 400 واط. تمت دراسة تغيرات التيار و السعة بدلالة الجهد و ذلك باستخدام تركيبة: (MIS)، حيث كان للاستطاعة RF تأثير واضح على هذه الخصائص، إذ بزيادتها تغير نوع النقل من الأومي إلى البول-فرنكل، أما المقاومة (ρ) فقد أبدت تزيادا مع زيادة الاستطاعة، بينما تناقص مجال الانهيار الكهربائي وثابت العازلية الديناميكي (ϵ_d) مع زيادتها. دراسة السعة الكهربائية $C(v)$ بينت أن الرقائق تحتوي على حوامل شحن في الحجم و في منطقة التداخل و تزايدت بزيادة الاستطاعة RF، بينما أبدى ثابت العازلية الساكن (ϵ_s) ارتفاعا كبيرا عند الإستطاعات الضعيفة ثم حدث له سقوط سريع، بعدها بدأ في التزايد بزيادة الاستطاعة.

الكلمات المفتاحية: نيتريد السيليسيوم، الرش المهبطي، الشرائح الرقيقة، الخصائص الكهربائية.

ع. عطاق

جامعة محمد خيضر
قسم الفيزياء، ص.ب. 145 ق.ر
بسكرة (07000)

م.ص. عيدة

وحدة البحث فيزياء المواد و تطبيقاتها
جامعة منتوري قسنطينة (25000)

م.ل. بن خدير

المركز الجامعي العربي التبسي
معهد العلوم الدقيقة، تبسة (12000)

Abstract

Recently great interest has been paid to amorphous silicon nitride thin films which have found a large range of applications. Certain device processing requires a low temperature of film deposition, thus making sputtering a potentially useful fabrication technique. In order to investigate the influence of the radio frequency (RF) power on the electrical properties of amorphous silicon nitride, films were deposited using powers between 150 and 400 W.

The electrical measurements suggest that the increase in the RF power induces the establishment of the Pool-Frenkel conduction mechanism. An increase in the resistivity and a decrease in the breakdown field of the film.

Key words: silicon nitride, sputtering, thin films, electrical properties.

Résumé

Ces dernières années, les couches minces de nitrures de silicium amorphe trouvent une grande importance surtout dans le domaine de l'électronique. Des couches minces de a-SiN ont été déposées par pulvérisation cathodique sous des basses températures et en utilisant des puissances radio (RF) comprises entre 150 et 400 W afin d'étudier l'influence de la puissance sur les propriétés électriques des couches.

Les mesures électriques ont montré que l'augmentation de la puissance RF conduit au mécanisme de conduction de type Pool-Frenkel, à une augmentation de la résistivité électrique et à une diminution du champ de claquage. L'évolution de la capacité $C(v)$ a montré l'existence de porteurs de charges dans le volume ainsi que dans l'interface.

Mots clés: nitrure de silicium, pulvérisation, couches minces, propriétés électriques.

A. ATTAF

Département de Physique
Université Mohamed Kheider
BP145RP, 07000 Biskra, Algérie

M.S. AIDA

Département de Physique
Faculté des Sciences
Université Mentouri
25000 Constantine, Algérie

M.L. BENKHEDIR

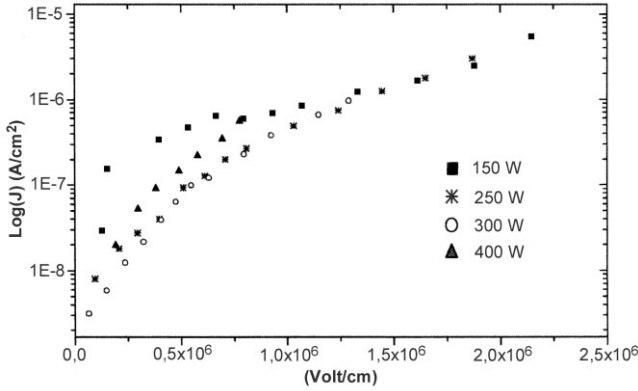
Institut des Sciences Exactes
Centre Universitaire de Tebessa
12000 Tebessa, Algérie

رکزت

الأعمال في مجال الإلكترونيات الدقيقة خلال السنوات الأخيرة على رقائق نيتريد السيليسيوم اللامتبلور (a-SiN) و ذلك لما يمتلكه من خصائص من جهة كاستقراره الكيميائي و تطبيقاته الواسعة من جهة أخرى و المتمثلة في تغليف المركبات الإلكترونية و كطبقات ضد انعكاسية فوق الخلايا الشمسية [1] و عزل البوابة عن a-Si:H عند ترانزستور تأثير المجال ذي البوابة المعزولة [2] و أفتحة الانتشار. أضف إلى ذلك ضعف انتشار الأيونات القلوية عند الرقائق التي ثخنها أقل من $1\mu\text{m}$ مقارنة برقائق SiO_2 [3].

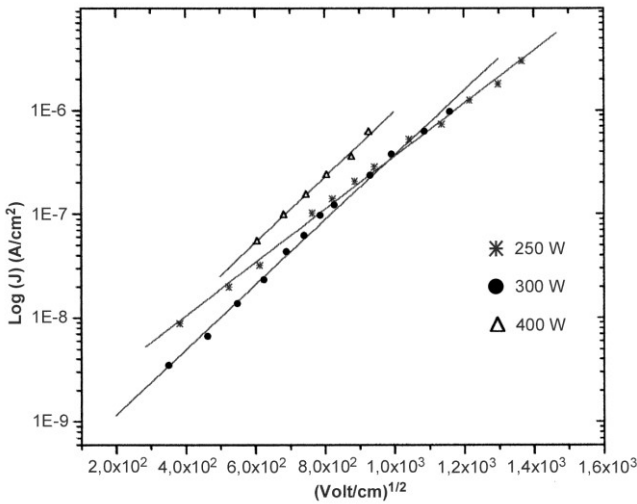
تتعلق خصائص نيتريد السيليسيوم اللامتبلور بطرق و وسائط التحضير، و لهذا الغرض استخدمت عدة طرق نذكر من بينها:

واحدا من النقل، فبيان العينة الأولى يمكن تقسيمه إلى منطقتين: منطقة أقل من 10^6 V/cm التي تبدي تغيرات لوغاريتمية مع المعلم نصف اللوغاريتمي أي أن قيم كثافة التيار تتغير خطيا مع المجال الكهربائي أي أن النقل في هذه المنطقة أومي.



شكل 1: تغير كثافة التيار مع المجال الكهربائي.

أما المنطقة الثانية التي تبدأ من نهاية المنطقة السابقة، فزيادة إلى منحنيات العينات الأخرى فتبدي جميعها تغيرات دالة جذرية، لذلك رسمت تغيرات العلاقة $\log J(\sqrt{E})$ الموضحة في الشكل (2) الذي يبدي تغيرات خطية أي أن الدالة الأصلية تكون أسية و بما أن سمك العينات مرتفع فإن النقل عند هذه العينات هو أثر بول-فرنكل [11-10].



شكل 2: توضيح ظواهر النقل عند العينات.

و لتفسير هذا التغير في نمط النقل نرجع إلى الدراسة الضوئية لنفس العينات [10] و بالضبط إلى تغيرات العصابة الضوئية الممنوعة كونها المنطقة التي تتحكم في النقل نلاحظ أن الأشياء المميزة بين عينة 150 واط و العينات الأخرى هي الروابط المعلقة N° و Si° التي تنصرف كمصادر لحوامل الشحن، حيث وجد أن عدد الروابط المعلقة قليل عند العينة الأولى بينما عند بقية العينات لوحظ زيادة في عرض ذيل عصابة التكافؤ إلى الداخل أي زيادة N° و كذلك توضع الروابط المعلقة Si° في منتصف العصابة الممنوعة مشكلة تقريبا عصابة أو مستوى، و بسبب هذه الروابط المعلقة التي

طريقة النتردة [4] و طريقة التوضع البخاري الكيميائي [5] ، و طريقة الرش المهبطي بنوعها (RC و DC) [6-7] ، و طريقة التفريغ المتوهج [8-9] ، و بما أن درجة حرارة تحضير معظم المركبات الإلكترونية تكون منخفضة فإن طريقة الرش المهبطي استخدمت لهذا الغرض مقارنة بطريقة النتردة أو التبخير الكيميائي اللتان تتطلبان درجات حرارة مرتفعة محصورة بين 900 و 1000 درجة مئوية.

عدة بحوث قدمت فيما يخص هذه الرقائق لكنها غير كافية مقارنة بالدراسات التي قدمت عن a:Si . خصائص a-Si_{1-x}N_x تتعلق بالنسبة المولية (x=N/Si) التي يتحكم فيها عند طريقة التفريغ الموهج عن طريق نسبة خليط الغازين NH₃ و SiH₄ و عند طريقة الرش المهبطي عن طريق تغيرات ضغط الأزوت داخل غرفة التحضير. و نظرا لكثرة الدراسة حول هذا الوسيط، سنقوم بدراسة تأثير وسيط الاستطاعة RF على الخصائص الكهربائية لهذه الرقائق.

التفاصيل التجريبية

لترسيب رقائق نيتريد السيليسيوم اللامتبلور بطريقة الرش المهبطي استخدمنا جهاز (ALCATEL SM 601) حيث تم خلط غازي الأرجون و الأزوت (Ar/N₂) حتى ضغط كلي مقداره $5,33 \cdot 10^{-2}$ Torr و ضغط جزئي لغاز الأزوت يساوي Torr $0,7 \cdot 10^{-2}$ ، أما الهدف و المتمثل في قرص من السيليسيوم أحادي البلورة و خالي تقريبا من الشوائب ذي قطر 15 cm بينما حامل المساند له قطر يساوي 5 cm ، درجة حرارة هذا الأخير تثبت عند 200 درجة مئوية بينما الاستطاعة RF غيرت بين 150 و 400 واط، و لتفادي التلوث بالأكسجين تم تفريغ غرفة الرش حتى الضغط 10^{-6} Torr. في الدراسة الكهربائية استخدمت مساند من السيليسيوم أحادي البلورة من النوع P ذي مقاومة 3 Ω cm ، هذه المساند تعرضت لجميع أنواع التنظيف المعروفة ثم وضعت فوقها طبقة من نيتريد السيليسيوم اللامتبلور سمكها يتغير بتغير الاستطاعة RF و المدة الزمنية بعدها وضعت التلامسات العلوية و السفلية من الذهب بواسطة جهاز رش ذو جهد مستمر من النوع (EDWARD S 150 B) فتم الحصول على التركيبة MIS .

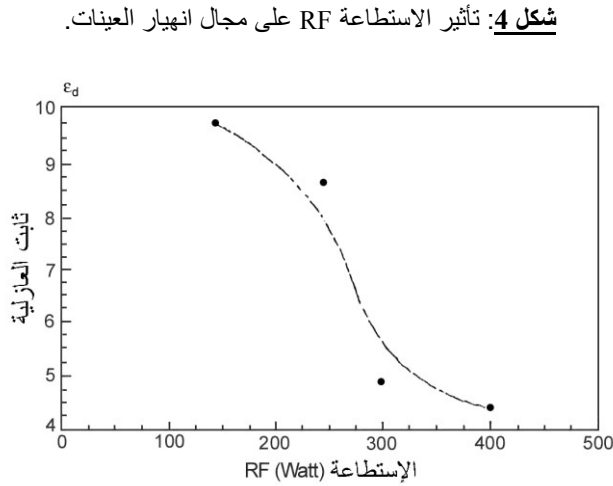
دراسة تغيرات التيار مع الجهد I(V) تمت بتوصيل التركيبية MIS بمولد جهد مستقر من النوع (LAMDA LL 905) يتراوح مجال عمله بين (0-120) فولت و علية حديدية (قفص فرادي) بها فتحات و أسلاك موصلة و محمية بشبكة معدنية و مقياس تيار كهربائي مخزن للقيم من نوع (KHEITLY 617)، أما تغيرات السعة مع الجهد C(V) فتمت بواسطة دائرة تحتوي على مقياس سعة من نوع (HEWELET PACKARD) متصل مباشرة بالتركيبية MIS عن طريق الأسلاك المحمية و العلية الحديدية، أضف إلى ذلك أن التغيرات تتم بواسطة مولد جهد عتبي داخلي مجال عمله محصور بين القيمتين (-42 و +42) فولت و إشارة متناوبة ذات توتر و حيد يساوي 1 MHz.

النتائج و المناقشة

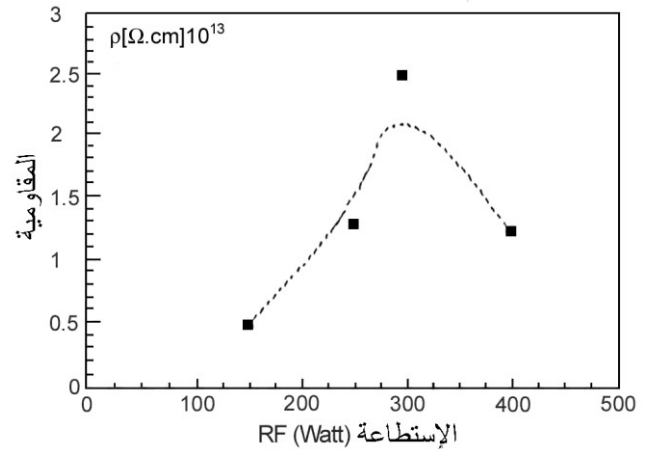
يبين الشكل (1) تغيرات $\log J(E)$ للعينات التي من خلالها نستطيع أن نتكلم عن نوعين من النقل تشملهما العينة ذات الاستطاعة 150 واط، أما العينات الثلاث الأخرى فتشمل نوعا

تتصرف كمصائد يمكن أن نفسر التغيير المفاجئ في نمط النقل الناتج و منه نستنتج أن الاستطاعة RF تغير نمط النقل عند المجالات الضيقة.

الشكل (3) يمثل تغيرات المقاومة (ρ) المستنتجة من الشكلين السابقين حيث نلاحظ زيادة خطية بين القيمتين 150 واط و 300 واط ثم يحدث تناقص قليل، هذا التغيير يرجع أساسا إلى أنه عند زيادة الاستطاعة RF تقل البنية العمودية [12]- [13] و تتوزع ذرات الأزوت و السيليسيوم مما يؤدي إلى تكاثف المادة أي ارتفاع قيمة الكتلة الحجمية و انخفاض كثافة المسامات و بذلك تتناقص المقاومة بتناقص الاستطاعة RF أما الهبوط الملاحظ بين 300 واط و 400 واط فهو ناتج عن نقصان كمية الأزوت [14].



شكل 5: تأثير الاستطاعة RF على ثابت العازلية الديناميكي.

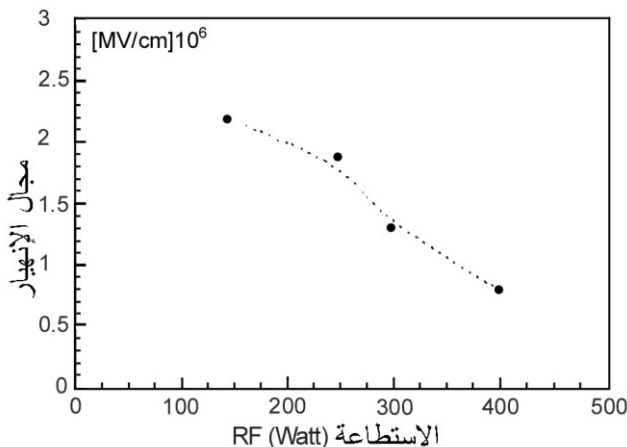


شكل 3: تأثير الاستطاعة RF على المقاومة.

الشكل (6) يمثل منحنى السعة للعينة الأولى و يلاحظ تمدده و انزياحه عن المنحنيات المثالية أي التخلف و السقوط في الجهد، فبيما يخص التخلف فهو ناتج عن الشحن الحجمية بينما الثبوت الحادث في منتصف المنحنى تقريبا فهو ناتج عن حالات السطح البطينية [15-16]، أما تغيرات المنحنيات مع الاستطاعة RF فقد حدث لها تمددات و انزياحات في اتجاه المحور الصفري، كما تزايدت قيمة السعة من 64 PF إلى 160 PF ، فبيما يخص النتائج الأولى فهي تبين تغير حالات الحجم و السطح أي كلما زادت الاستطاعة زادت هذه الحالات و هذا موافق للنتائج السابقة أي ارتفاع كثافة الحالات و تناقص مجال الانهيار.

أما النتائج الثانية و المتمثلة في قيم السعة فمن خلالها استنتج ثابت العازلية الساكن (ϵ_s) الموضح في الشكل (7) و الذي أبدى تزايدا كبيرا عند عينة 150 واط و هذا بسبب سيطرة الاستقطابية الثنائية على الإلكترونية [13] و هذا راجع للبنية العمودية لهذه العينة [10]، بينما التغيرات الحادثة بين القيمتين 250 واط و 400 واط فهي ناتجة من سيطرة الإستقطابية الإلكترونية و لتكاثف المادة [10] و زيادة الكتلة الحجمية بزيادة الاستطاعة RF [10-13].

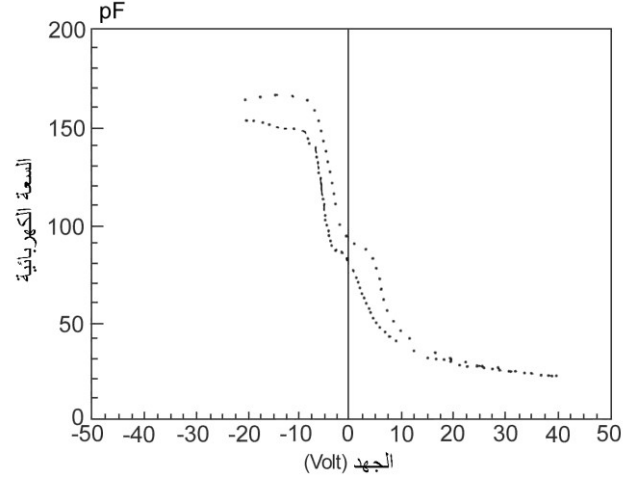
الشكل (4) يمثل تغير مجال الانهيار الذي يبدي تناقصا خطيا مع زيادة الاستطاعة و هذا راجع أساسا إلى البنية التركيبية و إلى بنية الأزوت داخل الرقائق حيث لوحظ من نتائج المطيافية تحت الحمراء [10] أنه كلما زادت الاستطاعة RF نقصت الروابط Si-N أي نقصان كمية الأزوت و منه تهرب المادة من العازل إلى نصف الناقل. من ظواهر النقل المشاهدة و مفعول جول الذي ينص على أن درجة الحرارة ترتفع مع زيادة التيار، نستطيع أن نستنتج مباشرة أن العينة الأولى يكون مجال انهيارها أكبر من مجال بقية العينات لأن التيار يثبت عند هذه في مجال كبير نسبيا أي أن درجة الحرارة تكون بها منخفضة مقارنة بالعينات الأخرى التي تزايد بها التيار بسرعة مع زيادة الجهد. إرتفاع كثافة الحالات يؤدي إلى زيادة زمن التيار الانتقالي و منه إلى رفع درجة الحرارة. أما الشكل (5) فيوضح تغيرات ثابت العازلية الديناميكي (ϵ_d) المستنتج من ميل المنحنيات و هذا التغيير متناقص بين 9,7 و 4,4 و هذا راجع إلى بنية الشرائح العمودية [10-13].



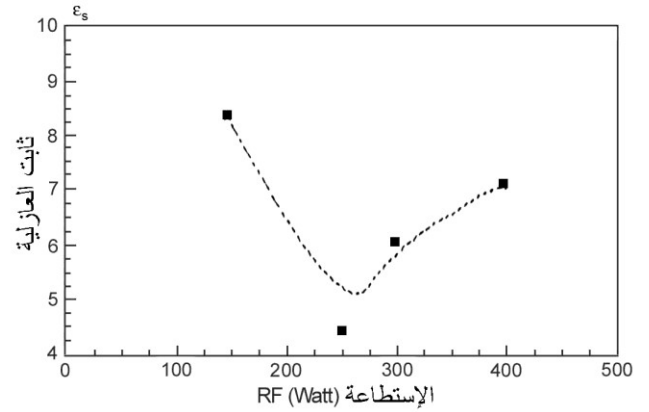
زيادة Mv/cm و $0,8 Mv/cm$ وهذا راجع للمسامات وزيادة المصائد. تغير الاستطاعة أثر أيضا على ثابت العازلية الديناميكي حيث تناقص من القيمة 9,73 إلى القيمة 4,4. تغيرات السعة الكهربائية $C(V)$ بينت أن الشرائح تحتوي على حوامل شحن بالحجم ومنطقة التداخل وهذا واضح من السقوط في الجهد الذي أبدته بيانات $C(V)$ وكذا التمدد الحادث بها، وهذه الخصائص أبدت زيادة بزيادة الاستطاعة RF، بينما ثابت العازلية الساكن فقد أبدى ارتفاعا كبيرا عند العينة 150 واط وهذا بسبب زيادة الاستقطابية الثنائية ثم حدث له سقوط سريع، بعدها بدأ في التزايد مع الاستطاعة وهذا راجع لزيادة الكتلة الحجمية بزيادة الاستطاعة RF.

المراجع

- [1]- Johnson C.C, Wydeven T. and Donohoe K., *Solar Energy Mater*, 31, (1983), p. 355.
- [2]- Powell M.G. and Orton J., *Appl. Phys. Lett.*, 45, (1984), p. 171.
- [3]- Burgess T.E., Baum J.C., Fowkes F.M., Holmstron R. and G.A., *J. Electrochem. Soc.*, 116, (1968), p. 1005.
- [4]- Ramesh K., Chandorkar A.N. and Vasi J., *J. Appl. Phys.*, 70 (40), 15 august (1991).
- [5]- Yoshiaki Kamigaki, Shinichi Minami and Hisoyuki Kato, *J. Appl. Phys.*, 68 (5), 1 September (1990).
- [6]- Mogab C.J., Petroff P.M., and Shang T.T., *J. Electrochem. Soc.*, 122, (1975), p. 815.
- [7]- Shimakawa K. and Wakamatsu S., *J. Appl. Phys.*, 68 (1), 1 July (1990).
- [8]- Hattori R. and Shirafuji J., *Journal of non Crystalline Solids*, 128, (1991), pp. 91-100.
- [9]- Jiong Huoi Zhou, Kengou Yamaguchi, Yamamoto and Tatsuo Shimuzu, *J. Appl. Phys.*, 74 (8), 15 October (1993).
- [10]- Aida M.S., Attaf A and Benkhedir M.L., *Phil. Mag.*, 73, (1996), p. 339.
- [11]- Dimaria D.J. and Arnet P.C., *IBM. J. Res. Develop.* (1977), p. 277.
- [12]- Mogab C.J. and Lugujo E., *J. Appl. Phys.*, 47, (1976), p. 1302.
- [13]- Hu S.M. and Gregor L.V., *J. Electrochem. Soc.*, 114, (1967), p. 826.
- [14]- Cordes L.F., *Appl. Phys. Lett.*, 11, (1967), p. 383.
- [15]- Sze S.M., "Physics of semiconductor devices", (1981), ed. J. Wiley et Sons.
- [16]- Nicolas E.H. and Brews J.R., "MOS Physics and Technology", (1982), ed. J. Wiley et Sons. □



شكل 6: تغيرات السعة الكهربائية للعينة الأولى و توضيح السقوط في الجهد.



شكل 7: تأثير الاستطاعة RF على ثابت العازلية الساكن.

الخلاصة

كان للإستطاعة RF تأثير واضح على الخصائص الكهربائية للعينات حيث بزيادتها تغير نوع النقل من الأومي إلى البول-فرنكل وشوهد هذا بين عينة 150 واط والعينات الأخرى، أما المقاومة (ρ) فقد أبدت تزيادا مع الاستطاعة وحصرت قيمتها بين $4,88.10^{12} \Omega cm$ و $2,48.10^{13} \Omega cm$ وهذا راجع للبنية العمودية بينما مجال الانهيار فسلك سلوكا مغايرا حيث تناقص خطيا مع تزايد الاستطاعة RF بين القيمتين 2,16