ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК ОКСИДА ГАФНИЯ-ЦИРКОНИЯ, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

الخصائص العازلة لأغشية أكسيد الهافنيوم والزركونيوم المترسبة بواسطة الرش المغناطيسي التفاعلي

Павел Александрович Александрович
студент, 3 курс,
Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники

Научный руководитель
Дмитрий Анатольевич Голосов
к.т.н., доцент,
в.н.с. Центра 2.1 НИЧ
Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники

المشرف العلمي
د. ديمتري أناتوليفيتش جولوسوف
أستاذ مشارك رئيس معمل 2.1 بجامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات والمعلوماتية

بافيل الكسندروفيتش الكسندروفيتش
طالب بجامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات والمعلوماتية

Аннотация: *приводятся значения диэлектрических характеристик пленок состава $Hf_{0,6}Zr_{0,4}O_y$, нанесенных методом реактивного магнетронного распыления из металлической составной мишени. Установлено, что данным методом возможно получать тонкопленочные слои легированного оксида гафния с тангенсом угла диэлектрических потерь 0,012 – 0,022, с токами утечки от $(1,0 – 3,0)\times10^{-3}$ А/м^2, пробивным напряжением $(2,1 – 2,4)\times10^8$ В/м, диэлектрической проницаемостью 12,5 – 16 и шириной запрещенной зоны пленок от 5,85 – 5,87 эВ.*

Ключевые слова: *тонкие пленки, реактивное магнетронное распыление, оксид гафния-циркония, диэлектрические характеристики.*

الخلاصة : يتم إعطاء قيم الخصائص العازلة لأغشية التركيب $Hf_{0.6}Zr_{0.4}O_y$، المترسبة بطريقة الرش المغناطيسي التفاعلي من هدف معدني. وقد ثبت أنه يمكن استخدام هذه الطريقة للحصول على طبقات رقيقة من أكسيد الهافنيوم المشوب مع ظل للخسارة العازلة 0.012-0.022، مع تيارات تسرب (1-3) × 10^{-3} أمبير / م^2، وجهد انهيار (2.1-2.4) × 10^8 فولت / م، ونفاذية 12.5-16، وفجوة نطاق 5.85-5.87 إلكترون فولت.

الكلمات المفتاحية : الأغشية الرقيقة، الرشح المغناطيسي التفاعلي، أكسيد الزركونيوم الهافنيوم، الخواص العازلة.

Введение

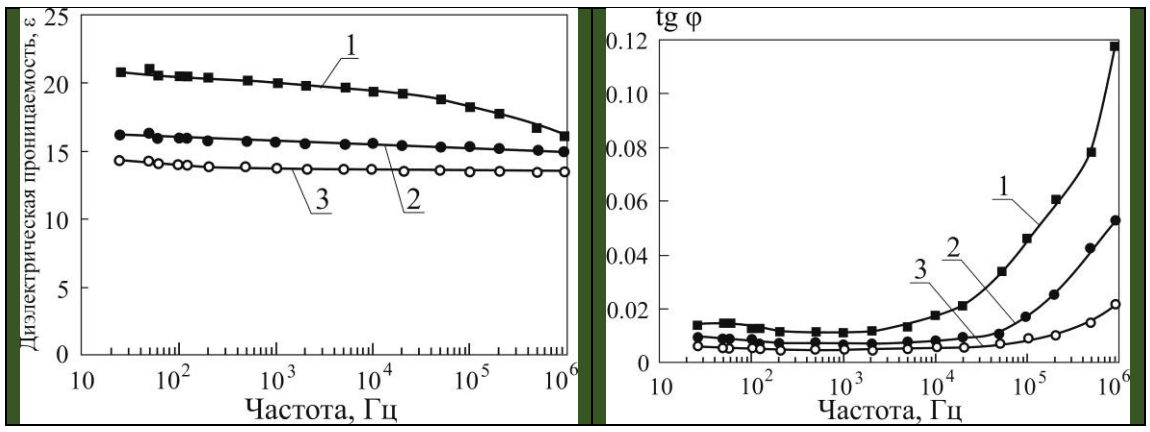
Одной из актуальных проблем современной микроэлектроники является внедрение в технологические процессы новых материалов с уникальными свойствами. Одно из семейств таких материалов представляют сложные оксиды. Особый интерес представляет использование сложных оксидов в качестве диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью в структурах металл – оксид – полупроводник (МОП). Соответственно поиск новых диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, низким током утечки, высокой стабильностью параметров и разработка методов нанесения тонких пленок сложных оксидов принципиальны для дальнейшего улучшения характеристик интегральных схем и являются актуальными задачами, которые требуют решения.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены частотные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь пленок оксида гафния-циркония, нанесенных при разной концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов. Изолирующие пленки $Hf_{0,6}Zr_{0,4}O_y$ формировались при Γ_{O2} более 12,5 %. При увеличении концентрации кислорода отмечалось снижение ε и диэлектрических потерь, особенно на высоких частотах. Следует отметить, что пленки, нанесенные при Γ_{O2} более 20 %, характеризовались крайне низким значением частотной дисперсии (D_F менее 1,1).

Плотность тока утечки пленок $Hf_{0,6}Zr_{0,4}O_y$ при нулевом смещении для всех образцов, нанесенных при Γ_{O2} более 12,5 %, составляла менее 10^{-5} А/м^2.

При приложении постоянного напряжения смещения ток утечки увеличивался, и для образца, нанесенного при Γ_{O2} = 12,5 %, составлял $2,0\times10^{-3}$ А/м^2. При увеличении концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов плотность тока утечки при постоянном напряжении смещения снижалась и при Γ_{O2} более 30 % были получены пленки с J_L = $(3,0 – 5,0)\times10^{-5}$ А/м^2 при $E = 5\times10^{-7}$ В/м.



а *б*

1 – 12,5 %, 2 – 16,7 %, 3 – 29,2 – 41,7 %

Рис. 1 - Частотные зависимости диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) пленок оксида гафния-циркония, нанесенных при различной концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов

1 – 12,5 %, 2 – 16,7 %, 3 – 29,2 – 41,7 %

الشكل 1 - الاعتماديات الترددية لنفاذية الضوء وظل الخسارة العازلة لأغشية أكسيد الهافنيوم والزركونيوم المترسبة عند تركيزات أكسجين مختلفة في خليط غاز Ar/O_2

Ширина запрещенной зоны пленок $Hf_{0,6}Zr_{0,4}O_y$ при Γ_{O2} более 20 % составляла 5,87 – 5,89 эВ и превышала значения E_g оксидов циркония и гафния. Для сравнения ширина запрещенной зоны оксидов гафния и циркония составляли, соответственно, 5,85 – 5,87 эВ и 5,81 – 5,85 эВ. Напряженность поля пробоя пленок также практически не зависела от концентрации кислорода и при Γ_{O2} более 16,7 % составляла $(2,5 – 3,0)\times10^8$ В/м.

Заключение

Легирование оксида гафния цирконием (40 ат.%) позволяет получать слои с тангенсом угла диэлектрических потерь 0,012 – 0,022, с токами утечки от $(1,0 – 3,0)\times10^{-3}$ А/м^2, пробивным напряжением $(2,1 – 2,4)\times10^8$ В/м, диэлектрической проницаемостью 12,5 – 16 и шириной запрещенной зоны пленок от 5,85 – 5,87 эВ.Исследования выполнены в рамках научного проекта Т23МЭ-013 при финансовой поддержке БРФФИ.

المقدمة

إن إحدى المشاكل الملحة في مجال الإلكترونيات الدقيقة الحديثة هي إدخال مواد جديدة ذات خصائص فريدة في العمليات التكنولوجية. إحدى عائلات هذه المواد تتمثل في الأكاسيد المعقدة. ومن الأمور ذات الأهمية الخاصة استخدام الأكاسيد المعقدة كعوازل ذات نفاذية عالية في هياكل أشباه الموصلات المعدنية والأكسيدية (MOS). وعليه، فإن البحث عن مواد عازلة جديدة ذات نفاذية عالية وتيار تسرب منخفض واستقرار عالي للمعلمات وتطوير أساليب تطبيق الأغشية الرقيقة من الأكاسيد المعقدة تشكل أهمية أساسية لتحسين خصائص الدوائر المتكاملة بشكل أكبر وهي مشاكل ملحة تتطلب حلولاً.

النتائج والمناقشة

يوضح الشكل 1 الاعتماديات الترددية لنفاذية الضوء وظل الخسارة العازلة لأغشية أكسيد الهافنيوم والزركونيوم المترسبة عند تركيزات أكسجين مختلفة في خليط غاز Ar/O_2. تم تشكيل أغشية عازلة من $Hf_{0.6}Zr_{0.4}O_y$ عند G_{O2} أكبر من 12.5٪. مع زيادة تركيز الأكسجين، لوحظ انخفاض في الخسائر ε والخسائر العازلة، وخاصة في الترددات العالية. تجدر الإشارة إلى أن الأفلام المترسبة عند G_{O2} أكبر من 20٪ تميزت بقيمة تشتت التردد المنخفضة للغاية (D_F أقل من 1.1).

كانت كثافة تيار التسرب لأغشية $Hf_{0.6}Zr_{0.4}O_y$ عند انحياز صفري لجميع العينات المودعة في G_{O2} أكبر من 12.5٪ أقل من 10-5 أمبير/م^2.

عند تطبيق جهد تحيز ثابت، زاد تيار التسرب وبالنسبة للعينة المودعة عند G_{O2} = 12.5٪ كان 2.0 × 10^{-3} أمبير/م^2 مع زيادة تركيز الأكسجين في خليط غاز Ar/O_2، انخفضت كثافة تيار التسرب عند جهد تحيز ثابت وعند G_{O2} أكثر من 30٪، وتم الحصول على أفلام ذات J_L = (3–5) ×10^{-5} A/m^2 عند الطاقة= 5×10^{-7} فولت/متر.

كانت فجوة النطاق لأغشية $Hf_{0.6}Zr_{0.4}O_y$ ذات G_{O2} أكبر من 20٪ 5.87-5.89 إلكترون فولت وتجاوزت قيم Eg لأكاسيد الزركونيوم والهافنيوم. للمقارنة، كانت عرض فجوة النطاق لأكسيد الهافنيوم والزركونيوم 5.85-5.87 إلكترون فولت و5.81-5.85 إلكترون فولت على التوالي. وكانت قوة مجال انهيار الأغشية أيضًا مستقلة عمليًا عن تركيز الأكسجين وعند G_{O2} أكثر من 16.7٪ كانت (2.5 - 3.0)× 10^8 فولت / متر.

الخاتمة

يسمح تشويب أكسيد الهافنيوم بالزركونيوم (40٪) بالحصول على طبقات ذات ظل فقدان عازل يبلغ 0.012 - 0.022، مع تيارات تسرب من (1.0 - 3.0) × 10-3 أمبير / م 2، وجهد انهيار (2.1 - 2.4) × 10^8 فولت / م، ونفاذية 12.5 - 16 وعرض فجوة النطاق للأغشية من 5.85 - 5.87 إلكترون فولت. تم إجراء البحث في إطار المشروع العلمي T23ME-013 بدعم مالي من جامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات والمعلوماتية.