

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК HfO<sub>2</sub>

*Зырянова А.С.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Телеш Е.В. – ст. преподаватель*

Исследовано влияние температуры подложки на оптические характеристики пленок из диоксида гафния, синтезированных реактивным ионно-лучевым распылением металлической мишени. Установлено, что повышение температуры подложки до 573 К привело к ухудшению оптических характеристик. Произошло снижение пропускания и рост поглощения в диапазоне 450–800 нм. Это может быть связано с десорбцией кислорода из пленки, образованием неоднородных областей в структуре покрытия.

В настоящее время в микроэлектронике отмечается повышенный интерес к тонкослойным пленочным структурам на кремниевой подложке, одним из основных компонентов для которых является гафний. Структуры на основе Hf могут использоваться в качестве диффузионных барьеров для металлизации (силицид гафния) [1] или материала оптических покрытий (диоксид гафния HfO<sub>2</sub>) [2]. Наибольший интерес представляют структуры на основе HfO<sub>2</sub>, который, по сравнению с традиционно используемым диоксидом кремния, обладает высокими значениями диэлектрической постоянной ( $\epsilon_{\text{HfO}_2} = 16\text{--}25$ ), ширины запрещенной зоны (8,0–5,7 эВ), коэффициента преломления (1,8–2,2). Также HfO<sub>2</sub> является прозрачным в спектральном диапазоне от ультрафиолетового до инфракрасного излучения, что делает его перспективным оптическим материалом [3].

Формирование пленок HfO<sub>2</sub> осуществляли реактивным ионно-лучевым распылением мишени из гафния на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. В качестве ионного источника использовался двухлучевой ускоритель с анодным слоем. Расстояние мишень–подложка составляло ~ 80 мм. Нагрев подложек осуществлялся резистивным нагревателем. Температура контролировалась термопарой хромель-копель. Покрытия наносили на подложки из кремния, кварца и стекла К8. Остаточный вакуум составлял  $3,8 \cdot 10^{-3}$  Па, парциальное давление кислорода –  $4,0 \cdot 10^{-2}$  Па, рабочее давление смеси аргона и кислорода –  $5 \cdot 10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение – 3,0 кВ, ток мишени – 85 мА, температура подложек – 31–573 К. Скорость нанесения составляла 0,34 нм/с. Толщина покрытий измерялась с применением микроскопа-микроинтерферометра МИИ-4 и составляла ~200 нм.

Спектры оптического пропускания и поглощения пленок HfO<sub>2</sub> определялись с применением спектрофотометра MC-121 PROSCAN в диапазоне 350...900 нм. На рисунке 1 представлены спектральные зависимости пропускания и поглощения пленок, полученных при парциальном давлении кислорода  $4,0 \cdot 10^{-2}$  Па и температуре подложки 388 К.

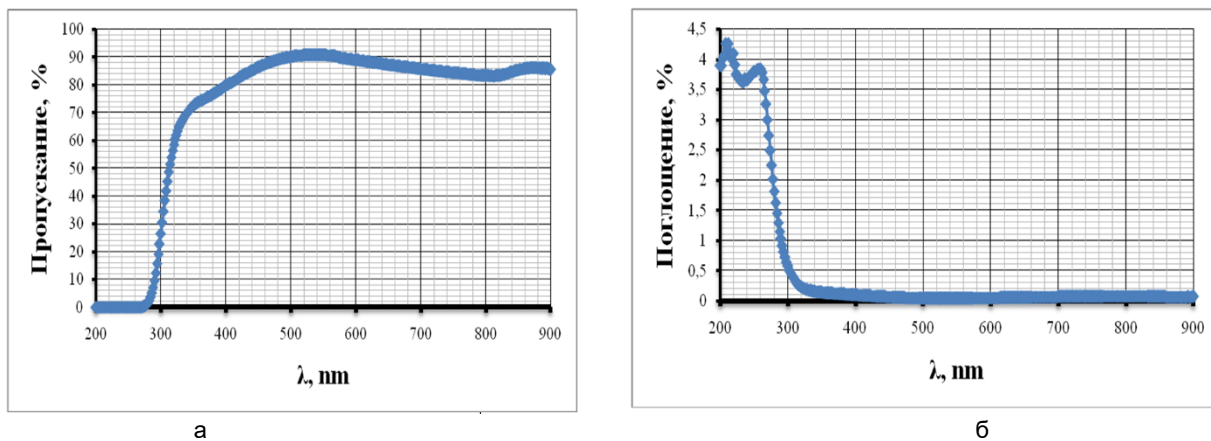


Рисунок 1– Спектры оптического пропускания (а) и поглощения (б) пленок  $\text{HfO}_2$ , полученных при температуре подложки 388 К

Покрyтия обладали высокой прозрачностью и низким поглощением в видимом диапазоне. Повышение температуры подложки до 573 К привело к ухудшению оптических характеристик. Произошло снижение пропускания и рост поглощения в диапазоне 450–800 нм (рисунок 2). Это может быть связано с десорбцией кислорода из пленки, образованием неоднородных областей в структуре покpытия.

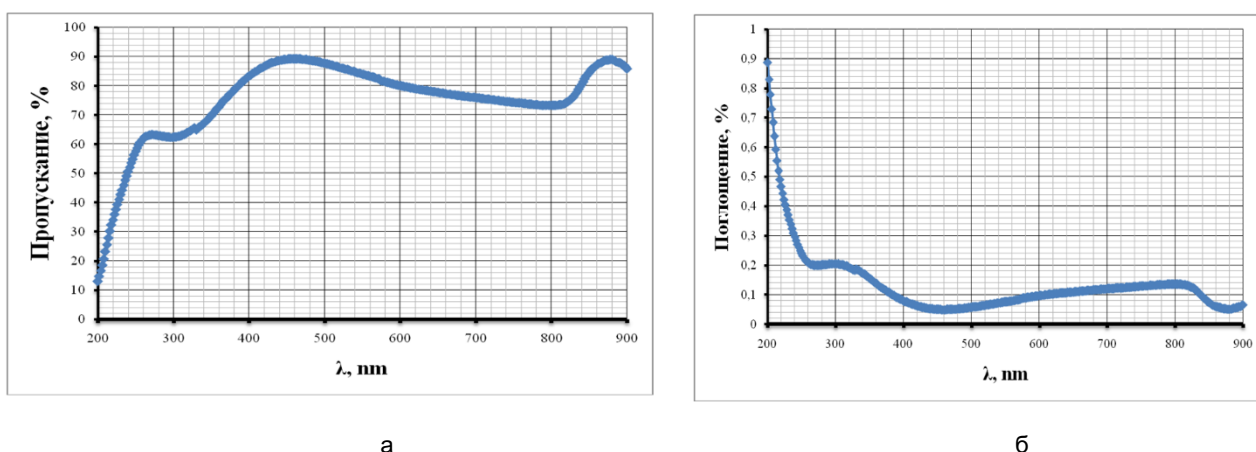


Рисунок 2– Спектры оптического пропускания (а) и поглощения (б) пленок  $\text{HfO}_2$ , полученных при температуре подложки 573 К

На рисунке 3 приведены зависимости пропускания и поглощения на  $\lambda=555$  нм от температуры подложки. Установлено, что ухудшение оптических характеристик происходит при нагреве подложки свыше 423 К.

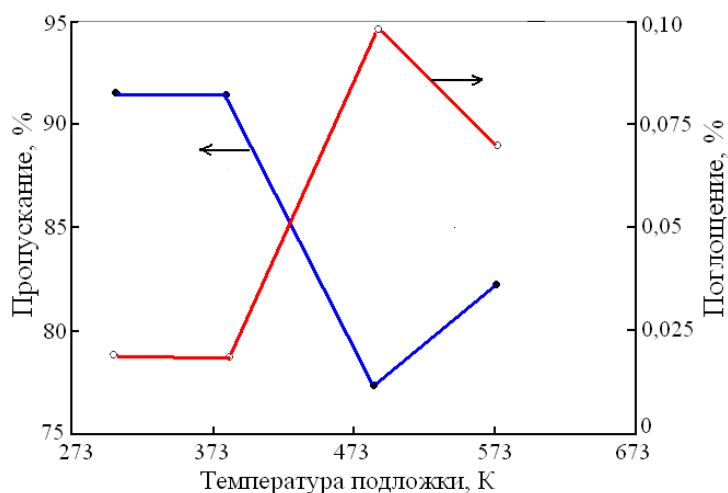


Рисунок 3– Спектры оптического пропускания (а) и поглощения (б) пленок HfO<sub>2</sub>, полученных при температуре подложки 573 К

Анализ спектральной зависимости пропускания пленок диоксида гафния, нанесенных на подложку из кварца при парциальном давлении кислорода  $4,0 \cdot 10^{-2}$  Па и температуре подложки 573 К, показал, что ширина запрещенной зоны составила 4,4 эВ. Она оказалась значительно ниже, чем у пленок, полученных при температуре подложки 303 К – 5,63 эВ, что говорит о снижении качества диэлектрика. Таким образом, установлено, что оптимальный диапазон температуры подложки должен составлять 300–423 К.

**Список использованных источников:**

1. Khorin I.A., Denisenko Yu.I., Gusev V.N. et al. Hf based layers for Cu metallization / Ed. by K. A. Valiev, A. A. Orlikovsky // *Int. Conf. on Micro and Nano Electronics – 2009. – Proc. of SPIE. – 2010. – P. 7521.*
2. Зырянова, А.С. Оптические характеристики тонких пленок HfO<sub>2</sub>, полученных реактивным ионно-лучевым распылением / А.С. Зырянова (научный руководитель Е. В. Телеш) // 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22–26 апреля 2019 г. БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2019 г. – 649 с.; ил. – С. 299–300.
3. Zhan, M.Q. Optical, structural and laser induced damage threshold properties of HfO<sub>2</sub> thin films prepared by electron beam evaporation / M. Q. Zhan,, D. P. Zhang, T. Y. Tian et al. // *Chin. Phys. Lett.* – 2005. – V. 22. – № 5. P. 1246–1248.