

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ГАФНИЯ

*Зырянова А.С.**Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь**Научный руководитель: Телеши Е.В. – старший преподаватель кафедры ЭТТ*

Аннотация. Проведено исследование морфологии поверхности пленок диоксида гафния при их нанесении реактивным ионно-лучевым распылением металлической мишени с использованием метода атомно-силовой микроскопии. Установлено, что после отжига поверхность стала более гладкой и значительно уменьшилось значение средней шероховатости.

Ключевые слова: диоксид гафния, тонкие пленки, реактивное ионно-лучевое распыление, морфология поверхности, атомно-силовая микроскопия, термический отжиг

Введение. Диоксид гафния обладает высокими значениями ширины запрещенной зоны (5,7–8,0 эВ), коэффициента преломления (1,8–2,2). Пленки HfO_2 демонстрируют высокую прозрачность в широкой спектральной области до E_g , при этом сохраняют свои оптические свойства при высоких температурах [1–2]. Диоксид гафния относится к так называемым «*high-k*» материалам, которые перспективны для формирования тонкого подзатворного диэлектрика МОП транзисторов [3]. Такой диэлектрик позволяет электрическому полю затвора проникать на большую глубину или толщину, не снижая остальные электрические характеристики, влияющие на скорость переключения транзистора. При этом эти материалы могут иметь большую толщину, чем диоксид кремния, при сохранении тех же свойств.

При термообработке на воздухе происходит кристаллизация аморфных пленок HfO_2 с образованием тетрагональной моноклинной кристаллической решетки [4]. Т.к. подзатворный диэлектрик имеет толщину ~ 3–5 нм, то важно, чтобы его поверхность была ровной и имела минимальную шероховатость.

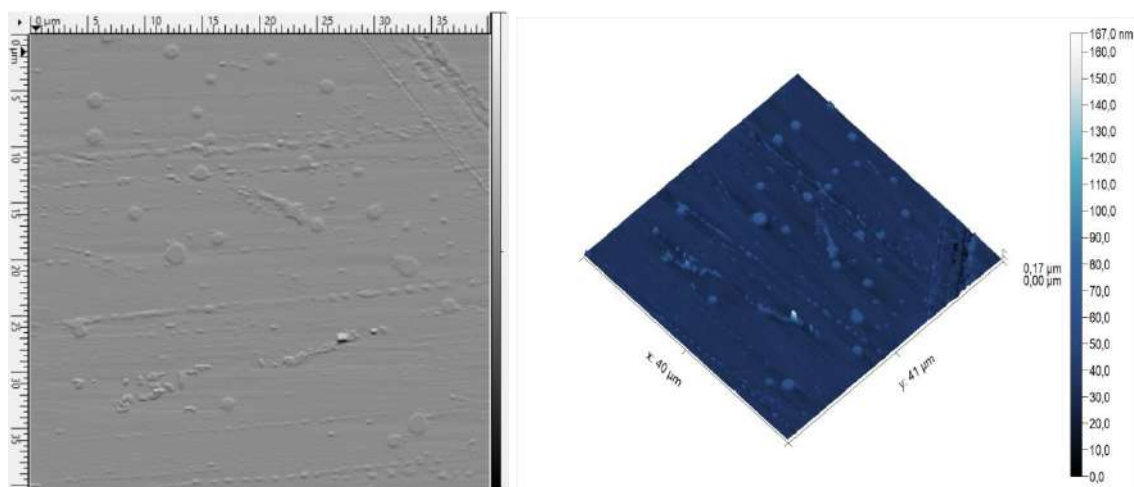
Данная работа посвящена изучению морфологии поверхности тонких пленок диоксида гафния, полученных реактивным ионно-лучевым распылением, с использованием атомно-силовой микроскопии.

Основная часть. Формирование диэлектрической пленки диоксида гафния осуществляли на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. В качестве ионного источника использовался дуолучевой плазменный ускоритель с анодным слоем. Использовалось реактивное ионно-лучевое распыление мишени из гафния марки ГФИ-1 ГОСТ 22517-77 [5]. В качестве рабочих газов использовались аргон газообразный, чистый марки «А», ГОСТ 10157-73 и кислород ГОСТ 6331-78. Для подложек применялся кремний марки КДБ-10. Вакуумный объем откачивался диффузионным насосом, что обеспечило получение остаточного вакуума $2,5 \cdot 10^{-3}$ Па. Рабочее давление смеси аргона и кислорода составляло $3 \cdot 10^{-4}$ Па, ускоряющее напряжение –3,0 кВ, ток мишени – 79–80 мА, температура подложек – 653–663 К. Термообработку структур HfO_2 /кремний осуществляли на воздухе при температуре 653–663 К в течение 30 минут. Морфология поверхности измерялась с применением атомно-силового зондового микроскопа СЗМ *Certus Light V*.

Было получено АСМ изображение площадью 40x41 мкм². При помощи программы обработки данных сканирующей зондовой микроскопии *Gwyddion* оно было обработано для получения более достоверных данных. Изображения поверхности тонких пленок до проведения термической обработки представлены на рисунке 1. Результаты сканирования подложек, прошедших термическую обработку, представлены на рисунке 2.

Установлено, что после отжига поверхность стала более ровной, значительно уменьшилось значение средней шероховатости. До проведения термической обработки на

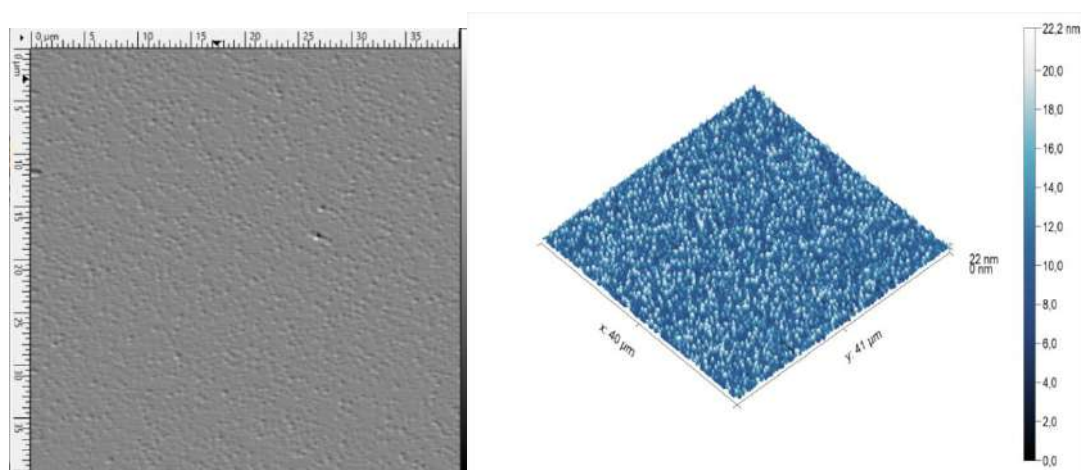
поверхности имеются ярко выраженные наросты, которые были равномерно распределены по поверхности после проведения обработки.



а

б

Рисунок 1 – Плоское (а) и объемное (б) изображения поверхности пленок HfO_2 до отжига



а

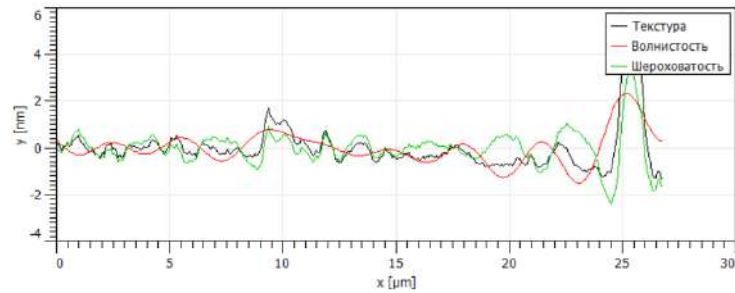
б

Рисунок 2 – Плоское (а) и объемное (б) изображения поверхности пленок HfO_2 после отжига

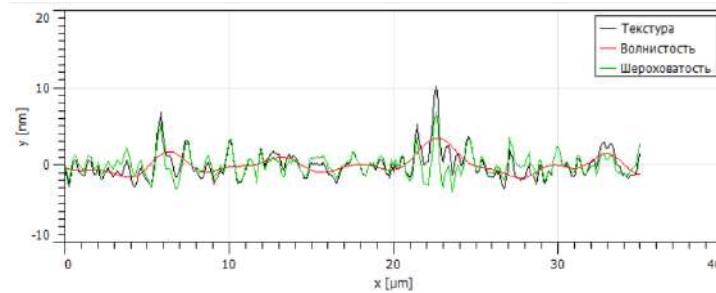
Результаты измерений параметров шероховатости представлены в таблице 1. Проследить значение шероховатости вдоль прямой поперечной линии можно на рисунке 3.

Таблица 1 – Параметры шероховатости

Параметр	Значение	
	До отжига	После отжига
Средняя шероховатость (R_a)	1,34938 нм	1,04288 нм
Максимальная высота шероховатости (R_t)	14,0946 нм	10,0159 нм
Максимальная глубина впадины шероховатости (R_v)	8,94454 нм	3,38205 нм
Средняя максимальная высота профиля (R_z)	7,50995 нм	7,25382 нм
Максимальная шероховатость от пика до впадины ($R_y = R_{max}$)	11,9382 нм	10,0159 нм



а



б

Рисунок 3 –Текстура, волнистость и шероховатость поверхности пленок HfO_2 (а – до отжига, б – после отжига)

Заключение. Проведенные исследования показали, что термический отжиг пленок диоксида гафния, нанесенных на подложки из кремния, привел к улучшению общей морфологии поверхности и уменьшению среднего значения шероховатости. В процессе отжига происходило дополнительное окисление гафния и формирование кристаллической структуры, что может быть причиной улучшения качества поверхности в пленках HfO_2 .

Список литературы

1. Aarik, J. Optical characterization of HfO_2 thin films grown by atomic layer deposition/ J. Aarik, H. Mandar, M. Kirm, L. Pung //Thin Solid Films.– 2004. – V. 466.– № 1–2. – P. 41–47.
2. Zhan, M.Q. Optical, structural and laser induced damage threshold properties of HfO_2 thin films prepared by electron beam evaporation/ M.Q. Zhang et al. //Chin. Phys. Lett. –2005. –V. 22.– № 5.– P. 1246–1248.
3. Huang, A.P. Hafnium based high k gate dielectrics / A.P. Huang, Z.C. Yang, P.K. Chu; Ed. by: P. K. Chu // Advances in Solid State Circuits Technologies. – 2010. – P. 333–350
4. Багмут, А.Г. Фазовые превращения в пленках, осажденных лазерной абляцией Hf в атмосфере кислорода / А.Г. Багмут, И.А. Багмут, В.А. Жучков, М.О. Шевченко// Журнал технической физики, 2012.–Т. 82.–вып.6. – С. 122–126.
5. Зырянова, А.С. Исследование электрофизических параметров тонкопленочных структур HfO_2/Si , полученных реактивным ионно-лучевым распылением / А. С. Зырянова, Е. В. Телеш // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. IX Междунар. науч. конф., Минск, 14–16 окт. 2020 г. / редкол.: В.Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]– Минск: БГУ, 2020.– С. 51–55.

UDC 621. 382

INFLUENCE OF THERMAL ANNEALING ON THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF THIN HfO_2 FILMS

Zyrianova A.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – senior lecturer of the Department of ETT

Annotation. A study was made of the surface morphology of hafnium dioxide films during their deposition by reactive ion-beam sputtering of a metal target using the method of atomic force microscopy. It was found that after annealing the surface became smoother and the value of the average roughness significantly decreased.

Keywords. Hafnium dioxide, thin films, reactive ion-beam sputtering, surface morphology, atomic force microscopy, thermal annealing