

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕАКТИВНОГО РАСПЫЛЕНИЯ ТАНТАЛ-АЛЮМИНИЕВОЙ СОСТАВНОЙ МИШЕНИ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Аспирант каф. ЭТТ Доан Тхе Хоанг,  
студент гр. 215101 Нгуен Ван Ту Ань,  
студент гр. 215101 Чан Динь Ньат Хань

*Научный руководитель – канд. техн. наук Голосов Д.А.*  
Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

Одной из актуальных проблем современной микроэлектроники является внедрение в технологические процессы новых материалов с уникальными свойствами [1–6]. К группе таких материалов относятся сложные многокомпонентные оксиды, которые в настоящее время начинают применяться в интегральных схемах в качестве функциональных слоев элементов памяти, металл – оксид – полупроводник (МОП) транзисторов, интегральных датчиков и источников питания, конденсаторных и резистивных структур, а также диффузионно-барьерных и покровных слоев [1, 4, 5].

Улучшение функциональных свойств пленок сложных оксидов сейчас в основном происходит за счет расширения их спектра и усложнения состава [2]. Однако практика показывает, что свойства таких материалов крайне чувствительны к элементному составу и структурному устройству. Это предъявляет жесткие требования к процессу формирования пленок сложных оксидов.

Для формирования пленок сложных оксидов большие перспективы имеет метод реактивного магнетронного распыления составных мишеней [7]. Метод позволяет получать многокомпонентные пленки с произвольным количеством и содержанием элементов при использовании одного магнетрона. Однако при реактивном распылении составных мишеней состав наносимых пленок зависит не только от скорости распыления каждого из компонентов мишени, но и скорости их окисления. Это требует точного контроля процесса распыления. Таким образом целью работы было исследование методом оптической

эмиссионной спектроскопии процессов распыления Ta-Al составной мишени в среде Ar/O<sub>2</sub> рабочих газов.

Исследование процессов реактивного магнетронного распыления Ta-Al составной мишени производилось на установке магнетронного нанесения тонких пленок FERO-00. Камера вакуумной установки оборудована магнетронной распылительной системой MAPC.011-80. Для распыления использовалась Ta-Al составная мишень Ø 80 мм и толщиной 5 мм. Мишень состояла из трех частей: центральной Al вставки шириной 31 мм и двух боковых Ta сегментов. Распыление Ta-Al составной мишени осуществлялось методом импульсного реактивного магнетронного распыления в среде Ar/O<sub>2</sub> газов. В ходе экспериментов использовалась отдельная газоподача. Инертный газ (Ar) подавался в газораспределительную систему магнетрона, а реактивный газ (O<sub>2</sub>) подавался в газораспределитель в области подложки. Расход рабочих газов контролировался с помощью автоматических регуляторов расхода газа РРГ-1. Содержание кислорода в камере ( $G_{O_2}$ ) изменялось от 0 до 90 % при общем расходе 60 мл/мин. При этом давление в камере составляло 0.08 Па. Питание магнетрона осуществлялось униполярным импульсным током (частота следования импульсов  $F = 10$  кГц, коэффициент заполнения  $D = 80$  %). Ток разряда магнетрона во всех экспериментах поддерживался постоянным и составлял  $I_t = 1.5$  А. Для контроля процесса реактивного магнетронного распыления использовался метод оптической эмиссионной спектроскопии (ОЭС) плазмы магнетронного разряда. Регистрация оптических спектров излучения плазмы осуществлялась с помощью анализатор спектра *S150 Duo* (ООО «СОЛ инструментс», РБ). Данный спектрометр позволял регистрировать спектры в диапазоне 290–865 нм со спектральным разрешением менее 0.15 нм. Для регистрации спектров излучения оптический эмиссионный спектрометр подключался с помощью световода к камере и наконечник световода через смотровое окно направлялся на плазму.

Исследования методом ОЭС спектров излучения плазмы при распылении Ta-Al мишени в среде Ar показали, что в спектре присутствовали линии возбужденных атомов аргона ArI, которые находились в диапазоне длин волн 690–865 нм, возбужденных атомов тантала TaI – в диапазоне длин волн 400–500 нм, и двойная линия возбужденных атомов алюминия AlI – на длинах волн 394.40 нм и 396.15 нм (Рисунок 1). При добавке кислорода и распылении составной мишени в среде Ar/O<sub>2</sub> рабочих газов в спектре были идентифицированы тройные линии возбужденных атомов кислорода OI на длинах волн 777.1–777.6 нм и

844.63–844.64 нм. При анализе процессов распыления Ta-Al мишени для распыляемых металлов и рабочих газов в качестве контрольных были выбраны наиболее интенсивные линии алюминия AlI (396.15 нм), тантала TaI (481.27 нм) и кислорода OI (777.15 нм)

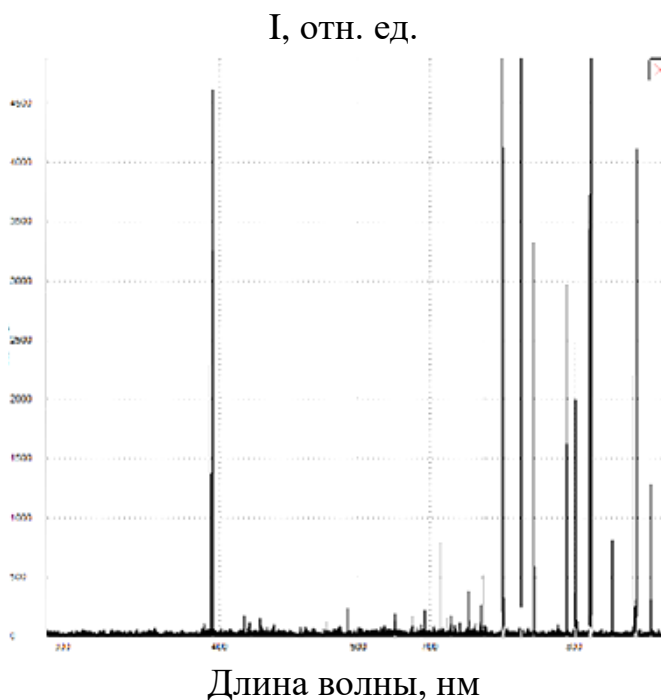


Рисунок 1. Спектр оптической эмиссии плазмы магнетронного разряда при распылении Ta-Al мишени в среде Ar

Исследования зависимостей интенсивности контрольных линий излучения плазмы от концентрации кислорода в камере показали, что при увеличении  $\Gamma_{O_2}$  происходило снижение интенсивности линий тантала  $I_{Ta}$ , алюминия  $I_{Al}$ , и увеличения интенсивности линии кислорода  $I_O$  (Рисунок 2).

На зависимости интенсивности линии кислорода от  $\Gamma_{O_2}$  можно было выделить три участка. При концентрациях кислорода до 10 % интенсивность линии OI была близкой к нулю, что связано с низкой концентрацией кислорода в области разряда. В диапазоне концентраций кислорода от 10 до 40 % интенсивность линии OI медленно увеличивалась, что связано с высокой скоростью поглощения кислорода поверхностями мишени и растущей пленки. На третьем участке (более 40 %  $O_2$ ) интенсивность линии росла практически пропорционально  $\Gamma_{O_2}$ . На данном участке количество поступающего в камеру

кислорода превышает количество поглощаемого пленкой, и его концентрация растет пропорционально скорости его расхода.

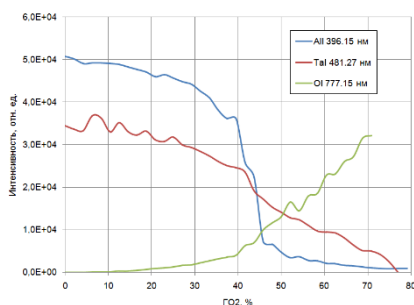


Рисунок 2. Зависимость интенсивности линий Ta, Al и O от концентрации кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов

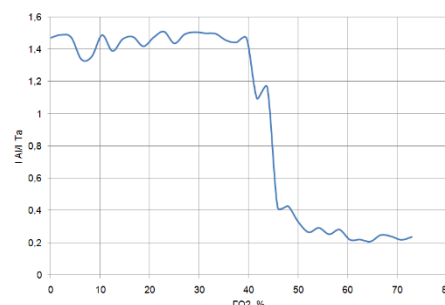


Рисунок 3. Зависимость отношения интенсивностей контрольных линий Al и Ta ( $I_{Al}/I_{Ta}$ ) от концентрации кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов

На зависимостях интенсивности линий Ta и Al можно было выделить два участка. На первом участке от 0 до 40 % O<sub>2</sub> интенсивность двух линий монотонно снижалась. При более высоких концентрациях кислорода снижение интенсивности линии TaI было более крутое и при  $\Gamma_{O_2}$  более 80 % ее не возможно было идентифицировать на фоне шумов. Поведение линии AlI отличалось от поведения линии TaI. При концентрации кислорода более 40 % интенсивность линии резко снижалась и при больших концентрациях кислорода линии Ta и Al имели малую интенсивность, которая не зависела от концентрации кислорода.

На Рисунок 3 представлена зависимость отношения интенсивностей контрольных линий Al и Ta ( $I_{Al}/I_{Ta}$ ) от концентрации кислорода в Ar/O<sub>2</sub> смеси газов. Как видно из рисунка отношение  $I_{Al}/I_{Ta}$  на участке от 0 до 40 % O<sub>2</sub> составляет около 1.45 и не зависит от  $\Gamma_{O_2}$ . При дальнейшем увеличении  $\Gamma_{O_2}$  происходит резкое уменьшение  $I_{Al}/I_{Ta}$  до 0.2–0.3, и в диапазоне концентраций кислорода от 50 до 75 % отношение интенсивности линий также не зависит от  $\Gamma_{O_2}$ . Поскольку интенсивность линий излучения плазмы пропорциональна концентрации материала в плазме, то можно сделать вывод, что при реактивном магнетронном распылении Ta-Al мишени состав наносимых пленок будет зависеть от  $\Gamma_{O_2}$ . При некоторой критической концентрации кислорода в пленках будет происходить резкое уменьшение содержания алюминия. Данное

уменьшение содержания алюминия связано с процессами формирования пленок оксидов на поверхности Ta и Al частей мишени и различием скоростей окисления этих металлов.

### *Литература*

1. Coll M., [et al.] // Appl. Surf. Sci., 482, 1 (2019).
2. Madhuri, K.V. // Advanced Research in Engineering Sciences “ARES” Journal, 2(3), 2 (2014).
3. Robertson, J., Wallace, R.M. // Materials Science and Engineering R., 88, 1 (2015).
4. Wang, B., Huang, W., Chi, L., Al-Hashimi, M., Marks, T.J., Facchetti, A. // Chem. Rev., 118, 5690 (2018).
5. Fortunato, E., Barquinha, P., Martins, R. // Adv. Mater., 24, 2945 (2012).
6. Thomas, S.R., Pattanasattayavong, P., Anthopoulos, T.D. // Chem. Soc. Rev., 42, 6910 (2013).
7. Nakano, J., Miyazaki, H., Kimura, T., Goto, T., Zhang, S. // J. Ceram. Soc. of Jap., 112(5), S908 (2004).