

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНОДНЫХ ОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Черемисин А.Б., Величко А.А., Пергамент А.Л., Стефанович Г.Б.

*Петрозаводский государственный университет*

*Петрозаводск, Россия*

Обработка материалов ионами инертных газов широко используется в науке для нанесения тонких пленок, получения профилей концентрации, в качестве источника возмущений во вторичной ионной масс спектроскопии. Понимание механизма ионно-индуцированных трансформаций поверхности материала необходимо для эффективного использования ионной обработки в технологии тонких пленок.

В данной работе представлены результаты исследований модификации электрофизических и оптических свойств анодных оксидов переходных металлов (ОПМ) при ионно-плазменной обработке (ИПО).

Для изучения модификации свойств ОПМ под действием плазмы (Ar) использовались анодные аморфные оксиды  $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$  и  $V_2O_5$ , синтезированные на кварцевых подложках.

ИПО анодных пленок ОПМ проводилась в планарном реакторе емкостного типа с проточной схемой напуска газа. Использовался плоский симметричный разряд в аргоне на частоте 13.56 МГц при рабочем давлении газа в камере –  $10^{-2}$  Тор. Мощность ВЧ разряда варьировалась в диапазоне 10 – 150 Вт, а время обработки 1-5 минут.

*Структурные исследования* модифицированных ВЧ плазмой (Ar) оксидов ванадия показали, что для больших доз ( $D_{и} > 5.025 \cdot 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>, 20 Вт) наблюдается кристаллизация исходно аморфного оксида ванадия – на фоне аморфного диффузного пика появляются линии поликристаллического оксида  $V_2O_5$ . Электронно-микроскопические исследования модифицированных анодных оксидных пленок (АОП) Nb и Ta дают подобный результат, но для кристаллизации требуются большие ионные дозы (мощность).

Известно [1], что при ионной бомбардировке эффективность передачи энергии ионов в облучаемый материал достигает 90 %. При этом может происходить существенный нагрев образца. Исследования в [2] показали, что для оксида V кристаллизационные процессы могут наблюдаться начиная с температур ~ 70°C, а для оксидов Ta и Nb с ~ 300°C. Таким образом, изменение структуры АОП при ИПО можно связать с процессом термостимулированной кристаллизации изначально аморфных пленок.

Существенная модификация *оптических свойств* при ИПО анодного оксида ванадия наблюдается в спектральном интервале  $2.5 \text{ эВ} < h\nu < 5 \text{ эВ}$ . Последовательное увеличение ионной дозы приводит к увеличению пропускания в коротковолновой области и уменьшению интенсивности пиков поглощения в этой области.

Согласно [3], в данном интервале энергий фотонов оптические свойства ОПМ обусловлены электронными переходами между 2р-состояниями атома кислорода и 3d-состояниями атома Me. Учитывая, что

$$a \sim |M_{fi}|^2 \cdot N_{fi}, \quad (2)$$

(где  $a$  – коэффициент поглощения материала,  $|M_{fi}|^2$  – квадрат матричного элемента, определяющий вероятность оптических переходов,  $N_{fi}$  – плотность начальных и конечных состояний), общее снижение поглощения в рассматриваемой области объясняется исходя из снижения  $|M_{fi}|^2$ . Это снижение  $|M_{fi}|^2$  связано с уменьшением степени 3d – 2р-гибридизации, обусловленным в данном случае увеличением средних Me-O расстояний вследствие внедрения ионов аргона в структуру  $V_2O_5$  пленки.

Процесс модификации оптических свойств оксидов Ta и Nb при ИПО качественно подобен модификации оптических свойств оксида ванадия.

В результате ИПО *изменяется также электрическая проводимость* рассматриваемых оксидов. С ростом мощности разряда и ионной дозы до  $10^{14}$  ион/см<sup>2</sup> в области средних полей ВАХ анодного  $V_2O_5$  наблюдается увеличение проводимости (участок с омической ВАХ не меняется). Здесь проводимость можно рассматривать с точки зрения протекания через оксид ТОПЗ, при наличии в запрещенной зоне окисла ловушечных уровней, экспоненциально распределенных по энергии ( $J \sim U^m$ ,  $m=8.2>2$ )[4]. Согласно выбранной модели, *рост проводимости оксидов при ИПО* можно объяснить уменьшением энергия активации ТОПЗ.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в аморфных анодных пленках ОПМ, в результате ИПО происходит модификация электрических, структурных и оптических свойств. Указанные изменения обусловлены ионным внедрением и электронной инжекцией из плазмы, термическим разогревом исследуемых оксидов.

Работа выполнена при поддержке грантов: Федеральное Агентство РФ по науке и инновациям (контракт № 02.513.11.3351), Министерство образования РФ и американский фонд гражданских исследований и развития (CRDF Award No. Y5-P-13-01).

[1] Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Ионное травление микроструктур.– М: Сов. Радио, 1979. –104с.

[2] Стефанович Г. Б. Переход металл-изолятор в пленочных структурах на основе оксидов переходных металлов. - дисс. докт. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 1997. – 360с.

[3] Лагукова Н.И., Мокеров В.Г., Губанов В.А.– ФТТ, т.17, в.12, 1975, с.3696.

[4] Райкерус П.А., Лалеко В.А. Физические основы пленочной электроники: Учебное пособие. – Петрозаводск, 1987. – 88с.