Исследование спектров пропускания и показателя преломления тонких пленок TiO_2 , синтезированных методом магнетронного распыления

Н.И. Сушенцов, С.А Степанов, Д.Е. Шашин, Е.В. Михеева

Поволжский государственный технологический университет

424000 Йошкар-Ола, Россия

e-mail: dima_shashin@rambler.ru

DOI 10.31554/978-5-7925-0524-7-2018-201-203

Рассмотрена методика получения магнетронным распылением тонких пленок TiO_2 и определены их оптические свойства (спектры пропускания и показатель преломления).

Введение

Диоксид титана TiO_2 является одним из перспективных материалов среди прозрачных оксидов. Тонкие пленки TiO_2 широко используют в разных фотоэлектрических приборах благодаря их высокой прозрачности в видимой области длин волн и электрическим свойствам, которые изменяются в широких пределах в зависимости от технологических условий. Значительный интерес к исследованию электрических и оптических свойств тонких пленок чистого и легированного диоксида титана обусловлены возможностью их использования в высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементах и информационно-измерительных приборах.

Для изготовления тонких пленок TiO_2 используют ряд технологических методов, в частности, реактивное магнетронное распыление, электронно-лучевое испарение, осаждение из газовой фазы, пульверизация с последующим пиролизом, термическое окисление [1]. В настоящей работе исследовались технологические параметры нанесения тонких пленок TiO_2 магнетронным распылением и их оптические свойства [2]. Для определения оптических констант материала исследуемых тонких пленок использовался конвертный метод. Конвертный метод был разработан для

анализа спектров пропускания с экстремальными точками, которые обусловлены интерференционными явлениями в тонких пленках, с целью определения толщины пленок, показателя преломления, коэффициента поглощения и экстинкции [3].

1. Методика эксперимента

Напыление тонких пленок TiO_2 проводилось на предварительно очищенные подложки стекла К7 в модифицированной рис. 1 серийной вакуумной установке ННВ-6,6 И4 с помощью магнетронного распыления мишени титана в смеси аргона и кислорода.

Рис. 1. Установка магнетронного распыления

Технологические параметры нанесения тонких пленок TiO_2 : мишень Ti (чистота 99,99%), диаметр 100 и толщина 5 мм; состав газовой смеси

Ar:O₂=0,5:0,5 (чистота 99,9%); время напыления 2,5 и 5 мин; температура подложки 100°C; ток разряда 1А; напряжение горения разряда 348-356 В; рабочее давление 1 Па. Спектры пропускания тонких пленок TiO₂ получены с помощью спектрофотометра СФ-2000 [2]. Экспериментальные точки снимались в области длин волн 190–1100 нм с шагом 1 нм.

2. Результаты и обсуждение

К основным оптическим характеристикам тонких пленок относятся дисперсионные зависимости показателя пропускания $T(\lambda)$, преломления $n(\lambda)$ и поглощения $\alpha(\lambda)$, оптическая ширина запрещенной зоны

E_g , входящие в действительную часть диэлектрической проницаемости, выражаемую по формуле [4]:

$$n^2 - k^2,$$

Величина k характеризующая степень затухания электромагнитной волны в материале, связана с коэффициентом экстинкции α известным отношением $\alpha=4\pi k/\lambda$ [см⁻¹]. Обычно такие параметры пленок вычисляются из спектров пропускания и отражения и из измерения толщины пленки [5]. На рис. 2 приведены зависимости коэффициента пропускания тонких пленок TiO₂ от длины волны.

Рис. 2. Спектр пропускания TiO₂

Получив конвертные кривые, можно определить зависимость показателя преломления $n(\lambda)$ исследуемых тонких пленок, используя формулу:

$$n(\lambda) = \left[\frac{\left(\frac{2n_s(T_{\max}(\lambda) - T_{\min}(\lambda))}{T_{\max}(\lambda)T_{\min}(\lambda)} \cdot \frac{n_s^2 + 1}{2} \right)^2}{\left(\frac{2n_s(T_{\max}(\lambda) - T_{\min}(\lambda))}{T_{\max}(\lambda)T_{\min}(\lambda)} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \right)^2 - n_s^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

где n_s - показатель преломления подложки, который находят по следующему выражению [6]:

$$n_s = \frac{1}{T_s} + \sqrt{\frac{1}{T_s^2} - 1},$$

Показатель преломления напыленных образцов составил 2,2-2,3.

Для определения толщины исследуемых образцов можно использовать следующую формулу:

$$= \frac{A\lambda_1\lambda_2}{2(n(\lambda_1)\lambda_2 - n(\lambda_2)\lambda_1)},$$

где λ_1 и λ_2 – длины волн, которые соответствуют соседним экстремальным точкам на спектре пропускания исследуемой пленки, коэффициент $A=1$, для двух экстремальных точек одного типа (min-min, max-max), и $A=0,5$, для двух экстремальных точек разного типа (min-max, max-min). Толщина пленок составила 461 нм, время напыления которого 2,5 мин, и 930 нм, время напыления - 5 мин.

Заключение

В ходе проведения эксперимента исследованы спектры пропускания тонких пленок TiO_2 (среднее пропускание 50%). Определен показатель преломления 2,2-2,3 тонких пленок TiO_2 , что меньше, чем у объемного материала 2,5-2,7. С помощью конвертного метода, была

рассчитана толщина тонких пленок TiO_2 и скорость распыления 3 нм/с.

Список литературы

- [1]. Белянин А.Ф., Борисов В.В., Сушенцов Н.И., Степанов С.А., Шашин Д.Е. // Нанотехнологии: разработка, применение 21 век. – 2017. – № 1(9). – С. 4-11.
- [2]. Сушенцов Н.И., Степанов С.А., Шашин Д.Е. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. – № 3(147). – С. 105-107.
- [3]. Сушенцов Н.И., Степанов С.А., Шашин Д.Е. // Вестник Поволжского Государственного Технологического Университета. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – №3(35). – С. 69-77.
- [4]. Брус В.В., Ковалюк З.Д., Марьянчук П.Д. // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. - Вып. 8. - С 110-113.
- [5]. Aita C.R. // J. Appl. Phys. – 1982. – Vol. 53. – No. 3. – P. 1807-1808.
- [6]. Сушенцов Н.И., Филимонов В.Е. Основы технологии микроэлектроники: Лабораторный практикум. - 2-е изд., перераб. и доп. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 156 с.