

Исследование оптических характеристик тонких пленок диоксида титана, полученных методом магнетронного распыления

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

Поволжский государственный технологический университет, г.Йошкар-Ола, пл.Ленина,
д. 3 e-mail: dima_shashin@rambler.ru

В данной статье исследованы оптические свойства тонких пленок диоксида титана.

Research of influence of technological parameters of magnetron sputtering on optical properties of titanium dioxide. N.I. Sushentsov, S.A. Stepanov, D.E. Shashin. The influence of technological parameters of magnetron sputtering on optical properties of thin films of titanium oxide is investigated.

Введение

Диоксид титана (TiO₂) является одним из перспективных материалов среди прозрачных оксидов. Тонкие пленки TiO₂ 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 обусловлен н возможностью их использования в высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементах и информационно-измерительных приборах. Для изготовления тонких пленок TiO₂ 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 магнетронного распыления на оптические свойства тонких пленок TiO₂, изготовленных методом магнетронного распыления[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]

Методика эксперимента

Напыление тонких пленок TiO₂ проводилось на предварительно очищенные подложки стекла в вакуумной установке УВН с помощью магнетронного распыления мишени титана в смеси аргона и кислорода.

Процесс напыления продолжался 2,5 и 5 минут при температуре подложки 100°C. Спектры пропускания тонких пленок TiO₂ получены с помощью спектрофотометра СФ-2000[2]. Экспериментальные точки снимались в области длин волн 190–1100 nm с шагом 1 nm.

Результаты и обсуждение

К основным оптическим характеристикам тонких пленок относятся дисперсионные зависимости показателя пропускания $T(\lambda)$, преломления $n(\lambda)$ и поглощения $\alpha(\lambda)$, входящие в действительную часть диэлектрической проницаемости, выражаемую по формуле [4]:

$$\varepsilon = n^2 - k^2, \quad (1)$$

а также оптическая ширина запрещенной зоны E_g . Величина k , характеризующая степень затухания электромагнитной волны в материале, связана с коэффициентом экстинкции α известным отношением $\alpha = 4\pi k/\lambda[\text{см}^{-1}]$. Обычно эти параметры пленок вычисляются из спектров пропускания и отражения, а также из измерения толщины пленки[5].

На рис.1 приведены зависимости процента пропускания тонких пленок оксида титана от длины волны.

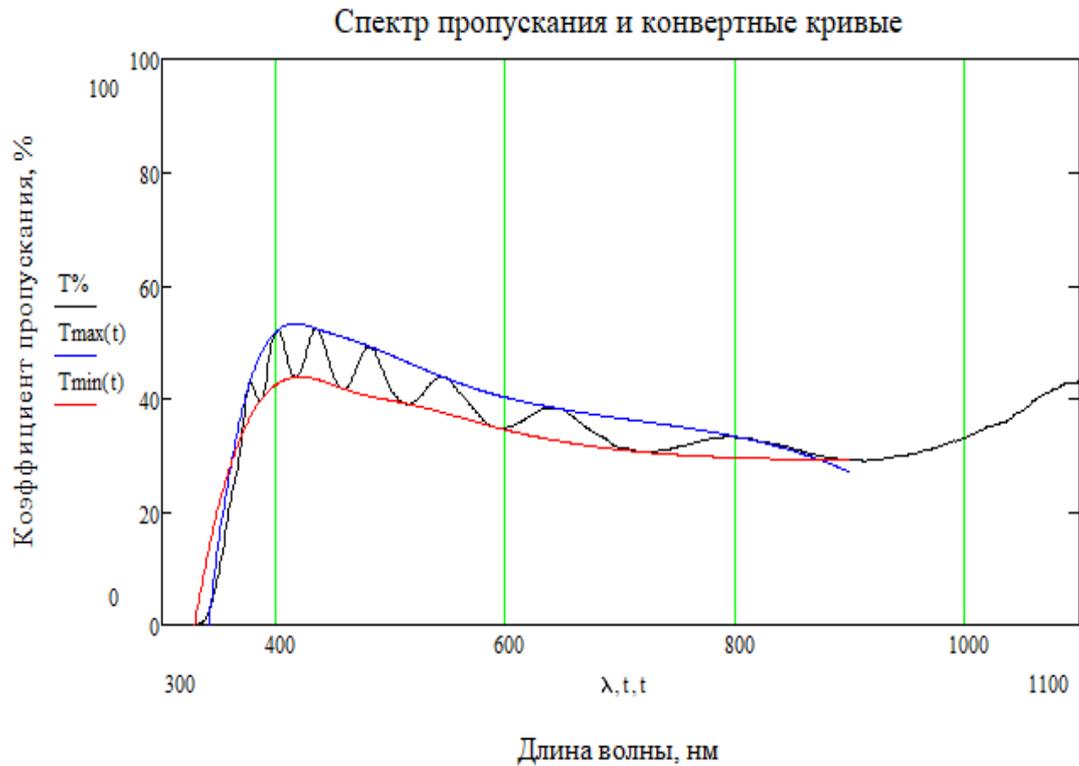


Рис.1 Спектр пропускания оксида титана.

Таблица 1 Технологические параметры при нанесении тонких пленок оксида титана

Параметры	Значения
Мишень	Ti (чистота 99,9%, диаметр 100 мм, толщина 5 мм)
Состав газовой смеси	50% Ar/50% O2 (чистота 99,9%)
Время напыления	5; 2,5 мин
Температура подложки	100°C
Разрядный ток магнетрона	1 А
Напряжение разряда	348-356 В
Рабочее давление	1 Па

Получив конвертные кривые, можно определить зависимость показателя преломления $n(\lambda)$ исследуемых тонких пленок, используя формулу (2):

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

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

$$n_s = \frac{1}{T_s} + \sqrt{\frac{1}{T_s^2} - 1}, \quad (3)$$

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

Для определения толщины исследуемых образцов можно использовать следующую формулу:

$$d = \frac{A\lambda_1\lambda_2}{2(n(\lambda_1)\lambda_2 - n(\lambda_2)\lambda_1)} \quad (4)$$

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 образцов составила 461 нм, для образца, время напыления которого составило 2,5 мин, и 930нм, время напыления-5 мин.

Результаты

- 1) В ходе проведения эксперимента исследованы оптические характеристики тонких пленок оксида титана;
- 2) Определен показатель преломления тонких пленок оксида титана (2,2-2,3), что меньше, чем у объемного материала (2,5-2,7);
- 3) С помощью конвертного метода, была рассчитана толщина тонких пленок оксида титана.

Литература

1. Белянин А.Ф. Борисов В.В.. Влияние термической обработки на строение и характеристики автоэмиссионных катодов на слоистых структурах нитрида титана и углеродных наностенок/ Н.И. Сушенцов, С.А. Степанов, Д.Е. Шашин //Нанотехнологии: разработка, применение 21 век . – 2017. – № 1(9), – С. 4-11.
2. Н.И. Сушенцов, С.А. Степанов, Д.Е. Шашин Разработка методики формирования функциональных покрытий на основе комплексного нитрида титана и алюминия и исследование их свойств //Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. – № 3(147). – С. 105-107.
3. Н.И. Сушенцов, С.А. Степанов, Д.Е. Шашин. Формирование и исследование тонкопленочных структур на основе оксида меди и оксида цинка, получаемых методом реактивного магнетронного распыления, для применения в солнечной энергетике/ //Вестник Поволжского Государственного Технологического Университета. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – №3(35). – С. 69-77.
4. В.В. Брус, З.Д. Ковалюк, П.Д. Марьянчук Оптические свойства тонких пленок TiO_2-MnO_2 , изготовленных по методу электронно-лучевого испарения Журнал технической физики, 2012, том 82, вып. 8-С 110-113.
5. Aita, C.R. VA_{as} el orientation aluminum nitride grown at low temperature by RF diode sputtering / C.R. Aita // J. Appl. Phys. – 1982. – Vol. 53. – No. 3. – P. 1807-1808.
6. Сушенцов, Н.И. Основы технологии микроэлектроники: Лабораторный практикум / Н.И. Сушенцов, В.Е. Филимонов. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – С 156.