

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПЛЁНОК ДИОКСИДА ТИТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Д.Е. Шашин, Д.С. Владимиров

АННОТАЦИЯ

Реактивное магнетронное распыление является наиболее перспективным методом получения плёнки из диоксида титана. Интерес к данному методу обусловлен высокой скоростью осаждения, высокой чистотой, хорошей адгезией получаемых покрытий, возможностью управления свойствами. В данной работе изучалось влияние толщины плёнки, концентрации аргона и кислорода и материала подложки на гидрофильные свойства плёнки оксида титана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОКСИД ТИТАНА, ТОНКИЕ ПЛЁНКИ, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ГИДРОФИЛЬНОСТЬ

FORMATION OF TITANIUM DIOXIDE FILMS BY REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING AND STUDY OF THEIR HYDROPHILIC AND OPTICAL CHARACTERISTICS

D. E. Shashin, D.S. Vladimirov

ABSTRACT

Reactive magnetron sputtering is the most promising method for producing a film from titanium dioxide. Interest in this method causes a particular tendency to sticker, exceptional cleanliness, good adhesion of surface surfaces, choice of control. In this paper, the influence of the film thickness, the concentration of argon and oxygen and the substrate material on the hydrophilic properties of the titanium oxide film was studied.

KEYWORDS

TITANIUM OXIDE, THIN FILMS, MAGNETRON SPUTTERING, HYDROPHILICITY

ВВЕДЕНИЕ

Фотокаталитические и гидрофильные свойства диоксида титана за последнее десятилетие вызывают все больший интерес. Такие свойства могут применяться в различных отраслях промышленности. Например, фотокаталитическая активность, которая возникает под действием УФ излучения, может применяться для разложения вредных органических соединений, как в растворах, так и в газовой среде. Гидрофильность может препятствовать запотеванию стекла, а также позволяет легко удалять масляные пятна водой. И самое главное, что эти полезные процессы способны протекать под действием солнечной энергии. Поэтому получение пленок диоксида титана является актуальной

Плёнки диоксида титана можно получить различными способами, такими как термическое испарение, дуговое испарение, реактивное магнетронное распыление, золь-гель метод и многие другие. Реактивное магнетронное распыление является наиболее перспективным методом получения плёнки из диоксида титана. Интерес к данному

методу обусловлен высокой скоростью осаждения, высокой чистотой, хорошей адгезией получаемых покрытий, возможностью управления свойствами.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Получение плёнок TiO_2 проводилось на модернизированной под магнетронное распыление установке УВН-71. Первый этап в технологическом процессе формирования плёнок – это очистка подложек, так как любое загрязнение приводит к образованию дефектов. Очистка проводилась в ультразвуковой ванне с моющим раствором и в парах ацетона.

Подложки устанавливаются в подложкодержатель вакуумной камеры. В нашей работе расстояние между подложкодержателем и магнетроном составляет 100 мм и используется титановая мишень. С помощью механического и паромасляного насосов получаем вакуум в камере порядка $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Для нашей работы в зависимости от эксперимента напускаемый газ, аргон и кислород изменяется в пропорциях от 30/70 до 70/30 до давления 1 Па. Так же необходимо нагреть подложку с помощью блока нагрева до 100 °С. С помощью блока питания устанавливаем на титановой мишени ток 1,5 А.

В рамках работы проведено несколько экспериментов, которые характеризуют влияние различных параметров на гидрофильные свойства плёнки оксида титана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый эксперимент выявляет зависимость между толщиной плёнки и гидрофильными свойствами плёнок оксида титана. Для данной работы проводилось напыление пяти стеклянных подложек при концентрации аргона и кислорода в вакуумной камере 50/50. Первая подложка напылялась 40 минут, вторая 30 минут, третья 20 минут, четвёртая 10 минут и пятая 5 минут.

Измерение толщины плёнки TiO_2 , проводилась на спектрофотометре СФ-2000 в диапазоне длин волн 190 – 1100 нм. Принцип действия спектрофотометра основан на измерении отношения двух световых потоков: прошедшего через исследуемый образец и падающего на него. С помощью СФ-2000 получили график зависимости процента пропускания от длины волны для разных подложек (Рисунок 1а). На спектрах пропускания тонких плёнок видны периодические пики и впадины, которые обусловлены интерференционными явлениями.

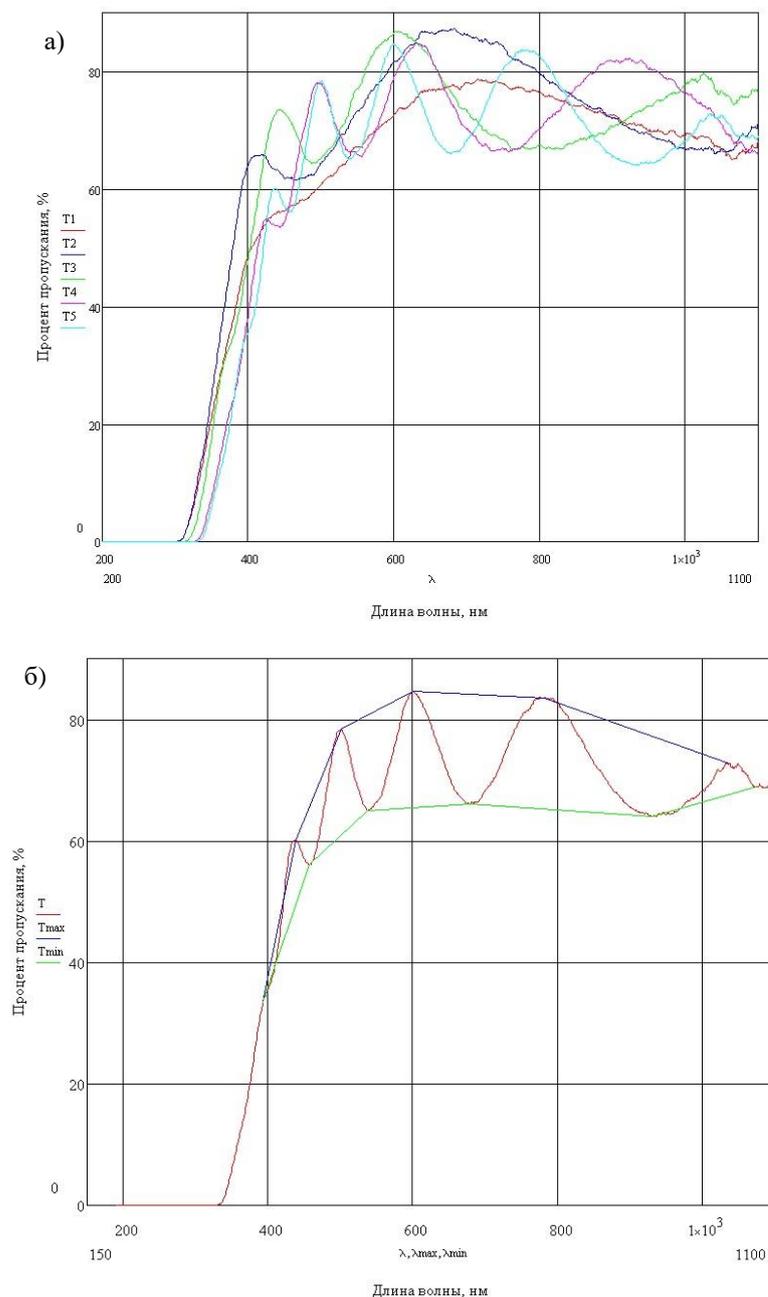


Рисунок 1 –а) Зависимость процента пропускания от длины волны для плёнок с разным временем напыления: T1 –5 мин; T2 – 10 мин; T3 –20 мин; T4 –30 мин; T5 –40 мин. б) График зависимости полосы пропускания от длины волны с конвертными кривыми

В данной работе для измерения толщины плёнки используется конвертный метод. На рисунке 1б показан график зависимости полосы пропускания от длины волны с конвертными кривыми, при напылении подложки 40 минут. Рассчитать оптические характеристики, методом конвертных кривых, плёнок со временем напыления 5 минут не получится из-за отсутствия интерференционных пиков и впадин. Для нахождения толщины исследуемых плёнок используют формулу:

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

где λ_1 и λ_2 – длины волн, которые соответствуют соседним экстремальным точкам на спектре пропускания. Данные расчёты проводились для двух соседних экстремумов одного типа поэтому $A = 1$. Полученные результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты вычисления толщины плёнки оксида титана

| Время формирования плёнок TiO ₂ , мин | Толщина плёнки, нм | Угол смачивания |
|--------------------------------------------------|--------------------|-----------------|
| 0 | – | 28°26 |
| 5 | – | 11°15 |
| 10 | 573 | 12°31 |
| 20 | 1097 | 13°46 |
| 30 | 1380 | 14°35 |
| 40 | 1996 | 16°35 |

Для определения гидрофильности полученные подложки осветили УФ лампой в течение 2 часов 20 минут. После освещения с помощью дозатора на подложке получили каплю дистиллированной воды для измерения угла смачивания с поверхностью подложки. Для фиксирования изображения капли воды на поверхности образца был использован фотоаппарат. Полученные изображения были обработаны на компьютере.

Второй эксперимент нацелен на выявления зависимости концентрации аргона/кислорода и гидрофильные свойства плёнок оксида титана. Плёнки в данной работе формировались на стеклянных подложках. Концентрации аргона и кислорода для первой подложки составляет Ar -70%, O₂ -30%, второй подложки Ar -50%, O₂ -50% и третьей подложки Ar -30%, O₂ -70%. Толщина данных плёнок была измерена с помощью интерферометра. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Полученные результаты

| Соотношение аргона и кислорода | Толщина плёнки, нм | Угол смачивания |
|--------------------------------|--------------------|-----------------|
| Ar -70 O ₂ -30 | 890 | 14°27 |
| Ar -50 O ₂ -50 | 860 | 9°18 |
| Ar -30 O ₂ -70 | 860 | 8°18 |

Третий эксперимент нацелен на выявления зависимости материала подложки от гидрофильных свойств плёнок оксида титана. Все плёнки формировались при концентрации 70 % аргона и 30 % кислорода. В качестве подложек использовались такие материалы как кремний, нержавеющая сталь, ситалл и стекло. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Полученные результаты

| Материал подложки | Угол смачивания |
|-------------------|-----------------|
| Кремний | 15°40 |
| Нержавеющая сталь | 12°15 |
| Ситалл | 13° |
| Стекло | 14°27 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом реактивного магнетронного распыления получены плёнки TiO₂. Проведено несколько экспериментов для определения параметров, влияющих на гидрофильные свойства плёнки оксида титана. В первом эксперименте исследовалось влияние толщины плёнки на гидрофильные свойства. Для расчета толщина плёнки использовался спектрофотометр СФ-2000. С помощью полученных данных со

спектрофотометра, построен график зависимости процента пропускания от длины волны с конвертными кривыми для каждой плёнки и методом конвертных кривых произведены расчеты толщины плёнки. По данному эксперименту можно сказать, что при увеличении времени формирования плёнки толщина плёнки увеличивается, а угол смачивания увеличивается и, следовательно, гидрофильность ухудшается (таблица 1). Во втором эксперименте определялось влияние концентрации аргона и кислорода на гидрофильные свойства плёнки оксида титана. Толщина плёнок определялась с помощью интерферометра. По данному эксперименту можно сказать, что при уменьшении концентрации аргона и увеличении концентрации кислорода угол смачивания плёнки уменьшается и, следовательно, гидрофильность улучшается (Таблица 2). В третьем эксперименте определялось влияние материала подложки на гидрофильные свойства плёнки оксида титана. По данному эксперименту можно сказать, что наилучшим показателем гидрофильности обладает плёнка, сформированная на нержавеющей стали, а худшим показателем гидрофильности обладает плёнка, сформированная на кремнии (Таблица 3) это происходит из-за того, что у нержавеющей стали повышенная шероховатость по сравнению с другими материалами. Благодаря этому площадь у нержавеющей стали больше и соответственно нержавеющей сталь проявляет лучшие гидрофильные свойства. Следовательно, можно сделать вывод о том, что материал подложки влияет на гидрофильные свойства плёнок оксида титана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров Д.С. Формирование методом реактивного магнетронного распыления плёнок диоксида титана и исследование их оптических характеристик / Владимиров Д.С. Шашин Д.Е. // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. - Йошкар-Ола: Научное электронное издание, 2022. - С. 324-327.
2. Брус, В.В. Оптические свойства тонких пленок TiO_2-MnO_2 , изготовленных по методу электронно-лучевого испарения / В.В. Брус, З.Д. Ковалюк, П.Д. Марьянчук // Журнал технической физики. – 2012. т. 82, выпуск 8, – С. 110–113.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шашин Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры (ORCID: 0000-0002-8222-2824). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл e-mail: shashinde@volgatech.net

Владимиров Дмитрий Сергеевич – студент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры. Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл e-mail: slender.200.9@mail.ru