

УДК 621.7.08**ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИН ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ**Селби Хыдырова⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾*Студент 3 курса⁽¹⁾, аспирант 3 года⁽²⁾,**Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: К.М. Мусеев,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии
в машиностроении»*

Толщина тонкой пленки оказывает значительное влияние на структуру и свойства пленки, такие как удельное электрическое сопротивление [1], коэффициент отражения и другие, что обуславливает необходимость измерения и контроля толщины наносимой пленки для обеспечения необходимых свойств.

Для измерения толщины пленки применяют различные методы, в том числе оптические (интерферометрический, профилометрический) и гравиметрические (микровзвешивание).

Метод пьезоэлектрического микровзвешивания относится к неразрушающим методам контроля толщины тонких пленок и широко применяется в датчиках толщины благодаря таким преимуществам по сравнению с другими методами, как высокая чувствительность кварцевых датчиков толщины [2], возможность контроля толщины пленки в процессе ее нанесения, отсутствие разрушения нанесенной пленки, а также экономическая доступность кварцевых резонаторов и генераторов [2].

В основе указанного метода лежит обратный пьезоэлектрический эффект, который заключается в колебании кварцевой пластины при приложении к ней переменного напряжения [3], [4]. Уменьшение собственной частоты колебаний кварцевого резонатора согласно уравнению Зауэрбрея [5] прямо пропорционально массе нанесенного на кварцевый резонатор слоя. Данное соотношение позволяет определить толщину пленки при известной плотности материала.

Целью работы является изучение и апробация метода пьезоэлектрического микровзвешивания.

В лаборатории кафедры МТ-11 «Элионные процессы и нано технологии» проведен эксперимент по нанесению пленки ИТО толщиной 100 нм на установке ВУП-11М. Кварцевый резонатор закреплен на подложкодержателе. Остаточное давление в камере составляло $1,7 \cdot 10^{-2}$ Па, рабочее давление $20 \cdot 10^{-2}$ Па. Подложкодержатель расположен на расстоянии 124 мм от мишени. Мощность магнетрона 120 Вт, частота 15 кГц. Коэффициент заполнения импульса равен 0,8. Выбор режима обусловлен известной при данных параметрах скорости осаждения ИТО 20,42 нм/мин. Для формирования пленки толщиной 100 нм время нанесения составляет 4 минуты 54 секунды.

Для измерения частоты кварцевый резонатор соединяется с генератором, подключенным к источнику постоянного напряжения, выводы генератора соединены с частотомером. Собственная частота резонатора измерялась до нанесения ИТО и составила $f_0 = 10,00044$ МГц, а после нанесения – $f'_0 = 9,98430$ МГц.

Толщина напыленного слоя, определенная из уравнения Зауэрбрея, составила 100,205 нм.

В результате проведенного эксперимента с помощью метода пьезоэлектрического микровзвешивания получено значение толщины нанесенной пленки ИТО 100,205 нм, что менее на 1% отличается от предварительно рассчитанного из скорости осаждения значения 100,058 нм.

На основании проведенного анализа методов измерения тонкопленочных покрытий можно сказать, что метод пьезоэлектрического микровзвешивания обладает такими преимуществами перед альтернативными, как высокая чувствительность, простота реализации, низкая стоимость оборудования и возможность измерения во время процесса осаждения. В результате проведенного эксперимента измеренная толщина пленки отличается менее чем на 1% от предварительно рассчитанной из скорости осаждения.

Литература

1. *Быков Ю.А., Карпухин С.Д., Газукина Е.И.* О некоторых особенностях структуры и свойств металлических "тонких" плёнок // *Металловедение и термическая обработка металлов.* 2000. № 6. С.45-47.
2. *Малов В.В.* Пьезорезонансные датчики. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с
3. *Methods and Phenomena. Vol. 7. Applications of Piezoelectric Quartz Crystal Microbalances / edited by C. Lu, A.W. Czanderna.* Elsevier, 2012. 408 p.
4. *Технология тонких пленок: справочник. В 2 т. Т. 1. / ред. Л.Майссел, Р.Глэнг.* Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. М., «Советское радио», 1977. 664 с. [Handbook of Thin Film Technology / edited by L.I.Maissel, R.Glang. New-York. McGraw-Hill, 1970. 800 p.]
5. *Sauerbrey G.* Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung // *Zeitschrift fuer Physik.* Vol. 155. 1959. pp. 206-222.