

тому же налоговая система, а также иные государственные системы регулирования не стимулируют, а снижают деловую активность и эффективность предпринимательской деятельности.

Экономическая свобода предпринимательства, благоприятные экологические условия, безопасность жизнедеятельности, демократизация политических и трудовых отношений также повышают возможности формирования, развития и реализации человеческого потенциала. Таким образом, проанализировав ключевые условия формирования и развития человеческого потенциала, характерные для Республики Беларусь, можно предположить, что становление социально ориентированной рыночной экономики в республике, развитие соответствующей структуры и инфраструктуры рынка, налаженный рыночный механизм будут способствовать достижению более высокого уровня развития и реализации человеческого потенциала.

УДК 621.793

Рябцев Р. Л.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ТИТАНА

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: канд. техн. наук,
доцент Комаровская В. М.*

Тонкие пленки оксида титана привлекают внимание как перспективный конструкционный материал для различных отраслей новой техники. Оксид титана является прекрасным материалом для твердотельных устройств, а именно, датчиков, фоточувствительных элементов и др. Имея высокий показатель преломления ($n \approx 2,4$), высокую термическую и химическую стабильность свойств, пленки оксида титана широко используются в качестве слоев многослойных оптических фильтров и оптических волноводов. Благодаря высокой диэлектрической проницаемости в настоящее время рассматривается возможность использования оксида титана в микроэлектронике для создания нового поколения систем хранения заряда.

Электронно-лучевой метод испарения привлекателен тем, что энергия электронного пучка подводится концентрированно непо-

средственно к поверхности мишени, где формируется поток пара. При электронно-лучевом испарении капельная фракция в составе испаренного материала практически отсутствует. Другим преимуществом является то, что подложки в процессе осаждения нагреваются много меньше мишени.

Метод позволяет осаждать покрытия на подложках относительно большой площади. Регулировкой плотности мощности пучка данный метод позволяет варьировать скорость осаждения пленки от 1 нм до нескольких микрометров в минуту. Эффективность использования материала мишени достаточно высока по сравнению с другими методами. Пленки, полученные с помощью электронно-лучевого испарения, имеют хорошую адгезию. Напыление тонких пленок $\text{TiO}_2\text{--MnO}_2$ проводилось на предварительно очищенные подложки стекла в вакуумной установке с помощью электронно-лучевого испарения спрессованных и отожженных таблеток из смеси порошков TiO_2 (99,99 %) и MnO_2 (99,99 %), взятых в соответствующих пропорциях. На протяжении процесса напыления давление остаточных газов в вакуумной камере составляло 5×10^{-3} Па. Процесс напыления продолжался 20 мин при температуре подложки 100 °С.

Доказано, что при росте содержания MnO_2 наблюдается увеличение показателя преломления тонких пленок $\text{TiO}_2\text{--MnO}_2$ (см. рисунок 1). Кроме того, виден рост коэффициентов поглощения и затухание в области края собственного поглощения. В длинноволновой области спектра наблюдалось уменьшение значений соответствующих коэффициентов пропорционально содержанию диоксида марганца, а также обнаружено уменьшение ширины запрещенной зоны материала пленок при росте содержания диоксида марганца.

Для улучшения показателя преломления и уменьшения пористости пленок оксида титана, осажденного электронно-лучевым методом, зачастую используют активацию поверхности пленки бомбардировкой ионов из дополнительного разряда. Высококачественные пленки диоксида титана (плотность – до $4,2 \text{ г/см}^3$, микротвердость – до 12 ГПа, показатель преломления до 2,6) со структурой анатаза получали при электронно-лучевом испарении титана в присутствии кислорода. Испаряемый титан и кислород активировался с помощью диффузного (без катодного пятна) дугового разряда. Мощность используемой электронной пушки составляла 25–30 кВт, давление кислорода 0,1 Па. Отличие используемой формы дугового разряда от вакуумной

дуги заключается в отсутствии катодного пятна на поверхности катода (титан). Это обстоятельство исключало появление микрокапель в потоке конденсируемого вещества. При этом скорость осаждения покрытий была достаточно высокой и достигала 40–70 нм/с.

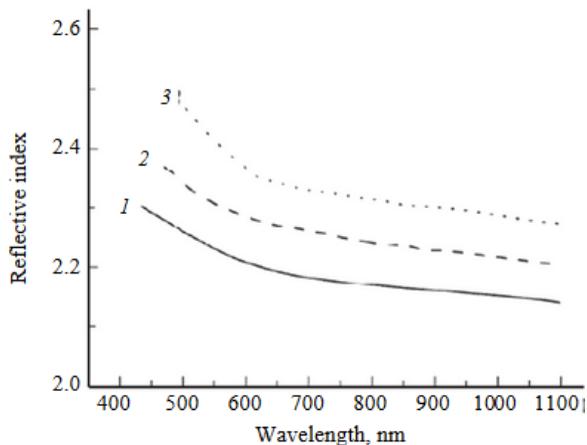


Рисунок 1 – Зависимость показателя преломления материала тонких пленок:
1 – TiO_2 , 2 – $\text{TiO}_2\text{-MnO}_2$ (1%), 3 – $\text{TiO}_2\text{-MnO}_2$ (5%)

Помимо независимой регулировки напряжения смещения подложки, в электронно-лучевом методе существует также удобная возможность независимого управления ее температурой. Также исследовалось влияние температуры подложки на свойства пленок оксида титана, осаждаемых электронно-лучевым испарением на установке Kurt Lesker 75. Показано, что с повышением температуры подложки от комнатной до 600 °С наблюдается улучшение плотности, шероховатости, оптических и электрических свойств осаждаемых пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsyganov I., Maitz M. F., Wieser E., Prokert F., Richter E., Rogozin A. // *Surface and Coatings Technology*. 2003. Vol. 174–175. P. 591.
2. Zolotukhin D. B., Oks E. M., Tyunkov A. V., Yushkov Yu. G. // *Review of Scientific Instruments*. 2016. Vol. 87. P. 063302
3. Bockut K., Laukaitis G., Virbukas D., Milcius D. // *Materials Science*. 2013. Vol. 19. No. 3. P. 245.