

Метод атомно-слоевого осаждения для «умных» электрохромных окон



В журнале *Vacuum* опубликована статья исследователей Политеха и партнеров о том, как вырастить тонкие пленки оксида никеля (NiO) методом атомно-слоевого осаждения (ALD) для «умных» электрохромных окон нового поколения. Работа показывает, как правильно подобрать режимы процесса и конфигурацию оборудования, чтобы получить однородные, стабильные покрытия для энергоэффективных стекол.

Электрохромные окна могут менять светопропускание под действием электрического сигнала и позволяют снижать до 10-15% энергозатрат здания на охлаждение и освещение. Оксид никеля считается одним из ключевых материалов для таких систем, но для массового применения нужно научиться осаждать его тонкие слои равномерно, на сложные, пористые подложки и при относительно низких температурах.

Авторы исследовали осаждение NiO методом ALD из прекурсора NiCr_2 и озона (O_3) на кремнии и пористом ИТО (индий-оловянный оксид), сравнив два типа испарителей — «bubbler» и «varog». Был найден «рабочий» температурный диапазон ALD (225-275 °C) с устойчивой скоростью роста 0,024-0,025 нм за цикл и показано, что bubbler-испаритель дает более высокую скорость роста и лучшую толщиную однородность (неоднородность около 19% при 250 °C).

Ключевые результаты

Получены тонкие пленки NiO, преимущественно кристаллические (структура Fm3m) с низкой шероховатостью и стабильными параметрами в широком температурном диапазоне.

На пористом ИТО сформирована core-shell структура: проводящий каркас из ИТО, покрытый конформным слоем NiO толщиной порядка 10-15 нм.

Такие покрытия показали электрохромные характеристики: модуляция пропускания 37%, эффективность окрашивания 42,6 $\text{см}^2/\text{Кл}$ и времена отклика 3,6 с (окрашивание) и 5,4 с (обесцвечивание), при этом используется существенно меньший объем активного материала по сравнению с более толстыми пленками на гладком ИТО.

Работа закрывает сразу две задачи: показывает, как корректно интерпретировать данные ALD-процессов с разными типами испарителей, и демонстрирует технологический маршрут к масштабируемому получению эффективных электрохромных покрытий на пористых подложках. Это напрямую востребовано в разработке умных окон, энергоэффективных фасадов и других оптоэлектронных устройств, где критичны однородность пленок и низкая температура обработки, совместимая с промышленными

подложками.

Оригинальная статья: [REDACTED]
[REDACTED]