

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА

Актуальной задачей современной оптоэлектроники является защита fotocувствительных приборов от радиочастотных помех. Для изготовления защитных фильтров используются материалы, которые прозрачны в оптическом диапазоне и эффективно отражают или поглощают излучение в микроволновом диапазоне. Одним из перспективных материалов являются проводящие пленки оксида индия-олова (indium tin oxide, ИТО). Целью работы было экспериментальное исследование оптических свойств проводящих пленок ИТО и разработка бесконтактного способа определения их параметров (толщина, концентрация и подвижность носителей заряда). Были экспериментально исследованы спектры отражения и пропускания пленок различной толщины (от 60 до 500 нм), напылённых на подложку из стекла К108. Исследования проводились в ультрафиолетовом, видимом и ИК диапазонах длин волн (0.18–4.5 мкм). Предварительно аналогичные спектры были получены для подложки, и для нее были определены спектральные зависимости показателя преломления и коэффициента экстинкции.

Теоретическое моделирование спектров отражения и пропускания пленки ИТО на стекле проводилось с помощью метода матриц переноса, причем подложка рассматривалась как «некогерентный слой» [2]. Комплексная диэлектрическая проницаемость проводящей пленки описывалась в рамках модели Друде. Спектры показателя преломления n и коэффициента экстинкции k пленки ИТО рассчитывались с помощью уравнения Френеля. Путем подгонки модельных спектров под эксперимент определялись параметры пленок ИТО. Для минимизации целевой функции был применен метод Нелдера-Мида. Разработанный метод определения параметров проводящей пленки обеспечивает выигрыш в точности определения толщины пленки примерно на порядок (по сравнению с методом сканирующей электронной микроскопии), а в точности определения поверхностного удельного сопротивления – в 2 раза (по сравнению с методом Ван дер Пау, для пленок толще 150 нм). Разработанный метод является *неразрушающим*, и в этом его главное достоинство.

При найденных параметрах пленок ИТО было рассчитано ожидаемое ослабление электромагнитного излучения в радиочастотном диапазоне как свободной пленкой, так и пленкой на подложке. Для свободной пленки имеет место своеобразный парадокс. В длинноволновом пределе ($\lambda \rightarrow \infty$), где $n \approx k \propto \lambda^{1/2}$, коэффициент отражения для одиночного интерфейса вакуум/ИТО равен 1. А у тонкой плёнки (с толщиной меньше скин-слоя), обладающей двумя интерфейсами, коэффициент отражения оказывается *меньше* 1, и имеется ненулевое пропускание, величина которого определяется единственным параметром – поверхностным удельным сопротивлением пленки.

1. M. González, et al. *The Chemical Record*, **7-8**, 1000 (2018).
2. R.B. Adamov, et al. *Applied Sciences*, **11**, 6053 (2021).