

УДК 535.31
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ КОНТРОЛЕ
ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ВОЛНОВОДНЫМ МЕТОДОМ

П.Я. ЧУДАКОВСКИЙ, А.Б. СОТСКИЙ, *И.У. ПРИМАК,
**Е.В. ГЛАЗУНОВ

ГУ ВО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.А. Кулешова»

*ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УП «КБ ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»
Могилев, Минск, Беларусь

Волноводная спектроскопия, основанная на туннельном возбуждении волноводных мод посредством призмного устройства связи, является одним из наиболее чувствительных неразрушающих методов контроля характеристик тонких пленок (толщин, показателей преломления и поглощения). Однако практика использования этого метода свидетельствует, что в ряде случаев он может давать завышенное (более чем на порядок, о чем свидетельствует фотометрирование трека моды) значение мнимой части показателя преломления материала пленки. Такое расхождение наблюдается при исследовании пленок, обладающих малым (менее 10 дБ/см) поглощением. Можно предположить, что данный дефект вызван выходом излучения возбуждаемой волноводной моды за пределы призмного устройства связи. В стандартных алгоритмах волноводной спектроскопии этот выход игнорируется.

В настоящем докладе представлена дифракционная теория призмного устройства связи, которая учитывает нерегулярность оптического контакта этого устройства с исследуемой волноводной пленкой. На ее основе получено решение прямой оптической задачи об описании спектра пространственных частот зондирующего лазерного пучка. Это решение позволило объяснить отмеченное выше расхождение непостоянством толщины зазора между призмой связи и волноводом при их механическом прижиге. Получено обобщение алгоритма решения обратной оптической задачи волноводной спектроскопии, позволяющее уточнить результаты измерений. Данный алгоритм протестирован экспериментально.

Решение дифракционной задачи найдено методом спектрального разложения оптического поля по дискретным модам слоистой структуры, заключающей в себе призму связи и волноводную пленку и ограниченной двумя вспомогательными идеально проводящими экранами. С целью моделирования открытого пространства на поверхности экранов помещаются полностью согласованные слои (PML). Задание возбуждающего пучка осуществляется путем внесения вспомогательного дипольного источника, расположенного между PML. Пространственная эволюция амплитуд мод

описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Значения этих коэффициентов определяются интегралами перекрытия мод с функцией, описывающей продольную нерегулярность в устройстве. Интегрирование системы осуществляется методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. Последующий расчет дифракционного поля в устройстве и спектра пространственных частот отраженного пучка, регистрируемого матрицей фотоприемников, не вызывает затруднений. Ключевым элементом описанной расчетной схемы является решение характеристического уравнения относительно комплексных постоянных распространения мод слоистой структуры. Это решение сводится к отысканию комплексных нулей целой функции методом контурного интегрирования.

Расчеты показали, что гауссов пучок света после отражения от основания призмы связи приобретает сложную структуру, в которой можно выделить регулярную часть и трек, связанный с переизлучением возбуждаемой моды обратно в призму. Благодаря этому треку, фурье-образ отраженного пучка приобретает вид так называемой темной m -линии. Протяженность трека существенно изменяется в зависимости от профиля зазора между призмой связи и волноводом, что ведет к модификации конфигурации m -линии. На практике обычно наблюдается увеличение данного зазора при движении от центра к краю основания призмы. Его увеличения, например, всего на 0,1 мкм на длине 1 см достаточно для двукратного сокращения протяженности трека, которое сопровождается уменьшением контраста m -линии. При обработке контура такой m -линии при помощи стандартного алгоритма волноводной спектроскопии получается двукратно завышенный коэффициент затухания моды. Таким образом, выполненные расчеты позволяют заключить, что причиной отмеченного выше снижения точности метода волноводной спектроскопии при исследовании слабопоглощающих пленок являются продольные нерегулярности в призмном устройстве связи.

Поскольку профиль зазора между призмой связи и исследуемой средой заранее неизвестен, в экспериментах можно попытаться минимизировать его влияние за счет искусственного «обрыва» призмы связи в пределах пятна оптического контакта, применив непрозрачный экран, кромка которого перемещается с микрометрическим шагом параллельно выходной грани призмы связи и контролируемым образом частично перекрывает отраженный пучок. Выполнены измерения такого рода. Для обработки полученных данных создан алгоритм, учитывающий дифракцию отраженного пучка на экране в условиях возбуждения волноводной моды. Разработанная методика измерений позволила существенно повысить точность восстановления коэффициентов затухания волноводных мод.