Высокоэффективные поляризаторы с металлической решеткой на несущих полимерных пленках для широкополосной терагерцовой спектроскопии

С. А. Кузнецов^{1,2}, А. В. Гельфанд¹, **А. А. Мамрашев³**, Ф. А. Минаков³, Н. А. Николаев^{2,3}

¹ Филиал института физики полупроводников СО РАН «КТИПМ»,
Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 2/1

² Аналитический и технологический исследовательский центр, Новосибирский государственный университет, Новосибирск 630090, ул. Пирогова, 2

³ Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Ак. Коптюга, 1
тел: +7 (383) 330-8378, эл. почта: mamrashev@iae.nsk.su

DOI 10.34077/RCSP2021-43

Одной из фундаментальных задач физики твердого тела является исследование высокоанизотропных и оптически активных материалов в терагерцовом (ТГц) диапазоне частот. Исследование их спектральных характеристик обычно осуществляется с помощью широкополосных импульсных терагерцовых спектрометров (THz-TDS), дополненных высокоэффективными широкополосными поляризаторами. В исследуемой области ТГц спектра такие поляризаторы должны демонстрировать высокое (> 40 дБ) ослабление одной из поляризационных компонент поля и низкие потери для другой. Несмотря на успехи в технологиях изготовления ТГц поляризаторов, обычные субволновые одномерные проволочные решетки, хорошо известные более 60 лет, по-прежнему широко применяются и коммерчески доступны. Такие устройства относительно дороги, требуют бережного обращения и имеют ограничения в размерах рабочей апертуры.

В данной работе представлены теоретические и экспериментальные результаты по исследованию характеристик разработанных тонкопленочных широкополосных ТГц поляризаторов на основе одномерных металлических решеток, полученных фотолитографическим способом. Проведен анализ конструкции поляризаторов с использованием полноволнового электромагнитного моделирования в сочетании с полуаналитической моделью. Исследование показало, что одномерные сетки с наименьшим технологически доступным шагом сетки и 50%-м металлическим заполнением на тонкой подложке с низким показателем преломления и малым тангенсом угла потерь рекомендуются для практической реализации.

С учетом технологических ограничений и коммерческой доступности тонкопленочных диэлектрических подложек были изготовлены решетки из алюминиевых полосок шириной 4 мкм, расположенных с периодом 8 мкм на поверхности пленок полипропилена (ПП) толщиной 4, 8 и 20 мкм и полиэтилентерефталата (ПЭТ) толщиной 3 мкм. Для изготовления поляризационных решеток использована техника контактной фотолитографии, которая была адаптирована для работы с гибкими тонкопленочными подложками с рабочей апертурой до 3 дюймов.

Для измерения спектральных характеристик изготовленных поляризаторов использовалась система THz-TDS, оснащенная двумя дополнительными поляризаторами для обеспечения линейной поляризации ТГц излучения в системе. Наряду с однорешеточными устройствами была также собрана и исследована тандемная структура из двух согласованных одиночных поляризаторов из полипропилена толщиной 4 мкм.

Измерен коэффициент пропускания по мощности и коэффициент экстинкции изготовленных поляризаторов в спектральном диапазоне 0,2–2 ТГц. В согласии с моделью измерения показали, что использование более тонких подложек приводит к более высокому пропусканию в режиме «прозрачности» (для $E \perp$ полосам). Поляризаторы на основе полипропилена толщиной 4 мкм демонстрируют самый высокий коэффициент пропускания по мощности $> 98\%$. Поляризаторы на основе ПЭТ толщиной 3 мкм менее прозрачны из-за более высокого поглощения ПЭТ в терагерцовом диапазоне. Все одиночные поляризаторы продемонстрировали сравнимые коэффициенты экстинкции 10^5 – 10^2 в исследуемом спектральном диапазоне. Тандемный поляризатор показал наилучшие общие характеристики. Его пропускание по мощности превысило 95%. А его коэффициент экстинкции превысил динамический диапазон используемого для измерений терагерцового спектрометра.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект 19-72-00106.