

осуществлялся с помощью кварцевого измерителя толщины по свидетелю, установленному рядом с образцами.

Для улучшения проводимости напыленной ITO-пленки необходима более высокая температура 300-500°C [2]. Поэтому после полного завершения процесса взрывной литографии использовался дополнительный атмосферный отжиг на воздухе с помощью нагревательного столика со скоростью 30 °С/мин от 20 °С до 250 °С, которая выдерживалась 2 мин. Остывание кристаллов и столика до комнатной температуры производилось за счет естественной конвекции. Отжиг привел к значительному снижению удельного поверхностного сопротивления пленки с 50 Ом/кв до 26 Ом/кв.

Размеры электродов контролировались на микроскопе Биомед-5П и автоматизированном интерферометре белого света WLI-DMR и составили: период – 290 мкм, ширина электрода – 117,5 мкм, толщина – 150..160 нм. Толщина и показатель преломления пленки ITO приблизительно соответствуют условиям оптического просветления на длине волны 632,8 нм.

Список использованных источников

1 Ярив, А. Оптические волны в кристаллах [Текст] / Ярив А., Юх П. – М.: Мир, 1987. – 616 с.

2 Bertran, E. RF sputtering deposition of Ag/ITO coatings at room temperature [Text] / E. Bertran et al. // Solid State Ionics. - 2003. – Vol. 165. – P. 139-148.

УДК 621.317

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Д. Паранин, А.К. Агибаева
Самарский университет, г. Самара

В работах [1, 2] рассмотрен электрооптический модулятор дифракционного типа на основе кристалла ниобата лития х-среза и алюминиевых встречно-штыревых электродов. Результаты исследований показали недостаточную электрическую прочность межэлектродного зазора шириной 140±5 мкм при напряжении до 800 В. Было отмечено обратимое нарушение оптической однородности поверхностного слоя кристалла, вызванного его переполаризацией около острых кромок и торцов электродов.

Для решения указанных проблем необходимо оптимизировать топологию электродов, а именно, увеличить межэлектродный зазор при неизменном периоде и обеспечить закругление торцов. Кроме этого

следует повысить оптическое пропускание модулятора за счет применения прозрачного проводящего материала электродов, например, оксида индия – олова.

Целью работы являлась разработка и исследование дифракционного электрооптического модулятора, обеспечивающего глубину модуляции не менее 30-40% при напряжении до 700-800 В, устойчивого к эффектам переполаризации и электрического пробоя поверхностного слоя кристалла.

Управляемая дифракционная решетка формировалась на поверхности X-среза ниобата лития размером 15x15x1 мм, обладающего максимальной чувствительностью к поперечному полю электродов E_z . Кристаллы полировались на предприятии-изготовителе алмазной суспензией до чистоты поверхности РПП по ГОСТ 11141-84, неплоскостности поверхности — не более $10''$, шероховатости $R_a < 2$ нм. Период решетки электродов составлял $d=290$ мкм, межэлектродный зазор $a=172,5$ мкм, длина электродов - 8 мм, ширина области электродов — 8 мм. Любая пара соседних электродов была подключена к различным полюсам источника напряжения. Электроды ориентировались перпендикулярно оптической оси Z кристалла. Электрическая изоляция межэлектродных зазоров обеспечивалась прозрачным акриловым лаком Plastik 70 с электрической прочностью до 70 В/мкм, наносимого аэрозольным методом. Толщина лакового покрытия составляла 20-30 мкм. Использование лака предотвращало поверхностный электрический пробой и разрушение электродов при напряжении более 500 В. Высокая электрическая прочность ниобата лития не позволяла развиваться объемному пробоя. Электрическое сопротивление образцов составляло не менее 1,5 ГОм.

В качестве материала электродов использовался прозрачный проводящий оксид индия – олова с толщиной 150-160 нм и удельным поверхностным сопротивлением 25-26 Ом/кв. Оксид индия – олова формировался реактивным магнетронным распылением в атмосфере кислорода на установке ЭТНА-100-МТ.

В ходе экспериментального исследования измерялась модуляционная характеристика элемента, представляющая собой зависимость интенсивности 0-го порядка дифракции от межэлектродного напряжения. Источником излучения служил гелий-неоновый лазер с нестабильностью мощности в рабочем режиме не более 1%. Излучение поляризовалось пленочным поляризатором оптического качества. Ось поляризатора ориентировалась параллельно оптической оси Z ниобата лития. Расширенный световой пучок имел гауссово распределение интенсивности с диаметром 2,8 мм по уровню 0,5 и расходимостью не более 0,4 мрад. Интенсивность пучка составляла 0,41 мВт/см² в максимуме. Управление диаграммой направленности управляемой решетки производилось аналоговым источником с напряжением до 800 В и пульсациями не более 0,2 В. Напряжение измерялось вольтметром GDM-78251A с пределом

измерения 1000 В и основной погрешностью не более 0,012%. Измерение интенсивности излучения осуществлялось с помощью измерителя оптической мощности РМ100D с термокомпенсированным кремниевым датчиком S120C с погрешностью не более 3-5%.

В ходе исследования достигнута глубина модуляции 41% при напряжении 800 В. Исследование прямой и обратной ветви характеристики не выявило гистерезиса, наблюдаемого ранее [1, 2], что сообщает об отсутствии процессов переполяризации кристалла.

Список использованных источников

1 Паранин, В.Д. Исследование механизмов управления характеристиками дифракционной решетки, выполненной на поверхности электрооптического кристалла ниобата лития [Текст] / Журнал технической физики. - 2014. - Т.84. - Вып.11. - С.146-150.

2 Паранин, В.Д. Особенности формирования иглообразных доменов в поверхностном слое ниобата лития X-среза [Текст] / Журнал технической физики. - 2014. - Т.84. - Вып.12. - С.132-136.

УДК 681.128.63

ПРОБЛЕМЫ УНИФИКАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЗАПРАВКИ СОВРЕМЕННЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Р.С. Захаров, А.В. Паршина
Самарский университет, г. Самара

В настоящее время в ракетно-космической отрасли России существует проблема, связанная с необходимостью унификации измерительного оборудования, используемого в системах контроля заправки баков компонентами топлива летательных аппаратов. На современных ракетах-носителях (РН) такие системы оборудуются датчиками уровня, устанавливаемыми в баках окислителя и горючего, а также блоками преобразования и передачи измерительной информации пользователю на наземную аппаратуру системы. Основная сложность заключается в том, что постепенная модернизация РН "Союз" привела к тому, что в настоящее время каждая РН оснащена своим комплектом измерительного и управляющего оборудования, что обуславливает возможность ее использования только на определенном космодроме.

В настоящее время пилотируемые запуски выполняются на РН 11А511У-ФГ, которые запускаются с двух стартовых комплексов (СК) "Гагаринский" и "Площадка 31", расположенных на космодроме "Байконур". Ракета-носитель "Союз-2" этапов 1а, 1б (далее 1А14) является самой распространенной РН семейства "Союз", её пуски могут осуществляться с "31-ой площадки" космодрома "Байконур", а также с космодрома "Плесецк".