

Г. И. БРАЙКО, Д. М. ВИННИК, к. ф.-м. н. А. И. ИЖНИИ

Украина, г. Львов, НПП «Карат»
E-mail: granat@carat.lviv.ua

Дата поступления в редакцию
24.01—02.04 2003 г.

Оппонент к. т. н. В. В. ДАНИЛОВ
(ДонНУ, г. Донецк)

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ МОДУЛЯТОРЫ ДЛЯ СИСТЕМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА РАДИОСИГНАЛОВ

Рассматриваются особенности разработки акустооптических модуляторов, применяемых в системах спектрального анализа радиосигналов, работающих в диапазоне частот 1—2 ГГц.

Акустооптические модуляторы света, принцип действия которых построен на фотоупругом эффекте, нашли широкое применение в науке и технике [1—4], в частности, в системах акустооптической обработки радиосигналов. Применение акустооптических модуляторов в этих системах обусловлено тем, что они позволяют обрабатывать сигналы с значительной полосой пропускания (~1 ГГц), имеют большой динамический диапазон, а дифракционная эффективность их составляет несколько процентов на ватт потребляемой мощности. Акустооптические модуляторы (АОМ), используемые в акустооптических анализаторах спектра, работают в диапазоне частот 1—2 ГГц.

Как известно, АОМ света состоит из светозвукопровода, пьезопреобразователя, возбуждающего объемную звуковую волну, с нанесенными на него электродами и системы возбуждения преобразователя, состоящей из элементов подвода электрической энергии и согласования с генератором сигналов.

Проектирование и разработка АОМ для систем спектрального анализа радиосигналов имеет ряд особенностей, связанных как с техническими, так и с технологическими проблемами. Одной из центральных задач при создании таких АОМ является проблема реализации электроакустических преобразователей для возбуждения звуковых волн. Для возбуждения объемных звуковых волн в диапазоне частот ~1 ГГц толщина резонансных пьезопреобразователей должна составлять ~2—4 мкм. Это обстоятельство ограничивает выбор материалов в связи с трудностями получения монокристаллических преобразователей такой толщины [3, с. 76]. Оптимальным материалом для пьезопреобразователей в этом диапазоне частот являются пленки ZnO [5, 6].

Другой особенностью разработки таких АОМ является тот факт, что с увеличением частоты звуковых колебаний потери акустической энергии в светозвукопроводе растут примерно пропорционально ее квадрату. Для большинства материалов светозвукопроводов, которые имеют высокий коэффициент акустооптического качества M_2 , потери в частотном диапазоне 1—2 ГГц становятся недопустимо высокими [7, с. 604].

Материалами светозвукопроводов, которые имеют относительно малые потери, являются кристаллы LiNbO₃ и Al₂O₃. При этом кристаллы LiNbO₃ более пригодны для разработки АОМ в качестве материалов светозвукопроводов, т. к. имеют более высокое значение коэффициента акустооптического качества M_2 по сравнению с кристаллами Al₂O₃ [6, с. 176].

Акустооптические модуляторы для систем спектрального анализа радиосигналов, в которых светозвукопроводами являются кристаллы LiNbO₃, по принципу возбуждения объемной акустической волны можно разделить на два типа:

— модуляторы, в которых возбуждение акустической волны осуществляется с помощью пьезопреобразователей на основе пленок ZnO;

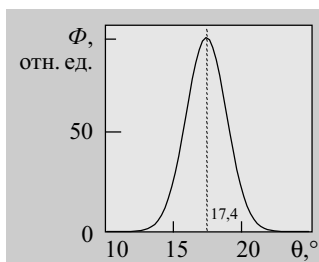
— модуляторы, в которых возбуждение акустической волны осуществляется с поверхности светозвукопровода.

В АОМ первого типа используются светозвукопроводы из монокристаллов LiNbO₃, в которых при помощи пьезопреобразователя на основе пленок ZnO можно возбудить продольную акустическую волну. Текстурированные пленки ZnO получают методами катодного или магнетронного распыления [5, 6].

Получение высокотекстурированных пленок ZnO с коэффициентом электромеханической связи K , по величине близким к коэффициенту электромеханической связи монокристаллического ZnO, является довольно сложной технологической задачей. В НПП «Карат» была разработана технология получения пленок ZnO со значениями K , близкими к их объемным аналогам, а также с высокими значениями электрической прочности, что существенно при возбуждении акустических колебаний с большой интенсивностью звукового потока.

Для получения пьезоэлектрических пленок ZnO методом магнетронного распыления использовалась разработанная и выпускаемая НПП «Карат» пьезоэлектрическая мишень марки ПО30-21 на основе легированной окиси цинка. Здесь легирование способствует более упорядоченному формированию текстуры пленок ZnO с ориентацией оси C текстуры перпендикулярно поверхности подложки.

На рисунке представлена типичная для таких пленок рентгеновская дифрактограмма качания для плоскости (002) пленки ZnO толщиной 1,5 мкм, нанесенной на металлизированную алюминием поверхность крис-



Рентгеновская кривая качания

талла LiNbO_3 (CuK_α -излучение). Здесь Φ — интенсивность отраженного рентгеновского излучения, θ — угол качания образца. На дифрактограмме показано отражение только от плоскости (002). Для тонких пленок 1—2 мкм угол отклонения оси текстуры

от нормали к поверхности, как правило, менее 1° , а угол разориентации кристаллитов $\delta_0 < 3^\circ$.

С использованием пленок ZnO в качестве пьезопреобразователя и монокристалла LiNbO_3 прямого Z-среза в качестве светозвукопровода был изготовлен образец АОМ со следующими техническими характеристиками:

дифракционная эффективность по уровню 3 Дб	10 %/Вт;
центральная рабочая частота	1750 МГц;
полоса рабочих частот	500 МГц;
длительность обрабатываемого сигнала	0,83 мкс.

Модулятор разработан с использованием пьезопреобразователя в виде фазированной решетки излучателей [8] с оптимизацией геометрии акустооптического взаимодействия. Учитывая невысокое значение коэффициента электромеханической связи ($K \leq 0,3$), а также тот факт, что коэффициент акустооптического качества $M_2 = 7$ для Z-среза кристаллов LiNbO_3 [5, 6], полученную эффективность АОМ следует считать близкой к максимально возможной при заданной мощности управляющего сигнала и геометрии акустооптического взаимодействия.

Таким образом, при разработке акустооптических модуляторов первого типа необходимо решать следующие основные задачи: отработку напыления пленок ZnO заданной толщины, оптимизацию фазированных преобразователей, согласование модулятора с генератором сигналов.

В акустооптических модуляторах второго типа возбуждение объемных акустических волн осуществляется с поверхности светозвукопровода из LiNbO_3 . При этом используются пьезоэлектрические свойства монокристаллов LiNbO_3 как пьезоэлектрика с высоким значением коэффициента электромеханической связи.

В работах [9, 10] показана возможность возбуждения объемной акустической волны с поверхности светозвукопровода LiNbO_3 при помощи пары электродов, нанесенных определенным способом на возбуждаемую грань светозвукопровода. Электрическое поле, которое устанавливается в щели между двумя электродами при подключении к ним напряжения от генератора сигналов, приводит к возбуждению объемных продольных и поперечных акустических волн в светозвукопроводе. В этих работах показано, что при использовании щелевого преобразователя (возбудителя) из пары электродов можно изготовить акустооптический модулятор света с дифракционной эффективностью 25%/Вт и центральной рабочей частотой ~940 МГц и полосой частот ~70 МГц. Столь высокие

значение величины дифракционной эффективности обусловлены как высокими значениями коэффициента электромеханической связи кристаллов LiNbO_3 , так и заданной конфигурацией возбуждающей щели.

При использовании фазированных преобразователей, где в качестве единичного узла возбуждения используется щель между двумя электродами, изготовлены макетные образцы АОМ, работающие на центральной частоте $f_0 = 1,1$ ГГц, с рабочей полосой ~200 МГц, дифракционной эффективностью 1,5 %/Вт. При измерениях использовался гелий-неоновый лазер с диаметром пучка $d = 2$ мм.

Полученные технические характеристики АОМ не являются предельными. Оптимизация технологии изготовления АОМ, а также параметров акустооптического взаимодействия, позволит значительно улучшить технические характеристики АОМ этого типа.

То есть при разработке акустооптических модуляторов второго типа (с возбуждением акустической волны с поверхности светозвукопровода) значительно упрощается технология их изготовления. Практически задача сводится к выбору определенной кристаллографической ориентации кристаллов LiNbO_3 с высокими значениями коэффициента акустооптического качества M_2 и коэффициента электромеханической связи K , оптимизации решетки фазированных преобразователей и согласованию модулятора с генератором в рабочем диапазоне частот.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность создания акустооптических модуляторов для систем спектрального анализа радиосигналов с пьезопреобразователями на основе пленок ZnO , а также возможность изготовления АОМ с возбуждением акустической волны с поверхности пьезокристаллических звукопроводов LiNbO_3 .

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гасанов А. Р. Акустооптические способы и средства отображения сигналов // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника.— 2000.— Т. 43, № 10.— С. 17—25.
2. Гусев О. Б., Кулаков С. В., Розживин Б. П., Тигин Д. В. Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени.— М.: Радио и связь, 1989.
3. Балакший В. И., Паригин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики.— М.: Радио и связь, 1985.
4. Кулаков С. В. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов.— Л.: Наука, 1978.
5. Бондаренко В. С., Зоренко В. П., Чкалова В. В. Акустооптические модуляторы света.— М.: Радио и связь, 1988.
6. Морозов А. И., Проклов В. В., Станковский Б. А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств.— М.: Радио и связь, 1984.
7. Кайно Г. Акустические волны.— М.: Мир, 1990.
8. Uchida N. Coupled-wave analysis of light diffraction by a multielement acoustic transducer array // J. Opt. Soc. Am.— 1974.— Vol. 64, N 8.— P. 1049—1057.
9. Демидов А. Я., Задорин А. С., Пуговкин А. В. Широкополосная аномальная дифракция света на гиперзвуке в кристалле LiNbO_3 / В кн.: Акустооптические методы и техника обработки информации.— Л.: ЛЭТИ, 1980.— Вып. 142.— С. 106—111.
10. Коваленко Е. С., Краковский В. А., Шандаров С. М. Возбуждение объемных упругих волн с поверхности пьезокристаллов / В кн.: Физика и техника акустооптики.— Томск: Изд-во Томс. ун-та, 1987.— С. 63—77.