

акустооптический сканер — реализует дискретное отклонение лазерного пучка при заданном уровне отклонения его энергии в результате преобразования дискретно изменяющейся частоты радиосигнала.

Необходимо отметить, что на основе АОЯ, используя анизотропную дифракцию света на акустических волнах, можно реализовать так называемый *акустооптический фильтр*, предназначенный для селекции оптических сигналов при поступлении на вход управления соответствующих радиосигналов.

Таким образом, основным базовым элементом акустооптических устройств управления лазерным пучком является акустооптическая ячейка, которой присущи все свойства, трактуемые термином «лазерное модуляционное устройство».

Конкретное название акустооптической ячейки, выполняющей функции лазерного модуляционного устройства, определяет целевое назначение системы, в которой она применяется.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Андреев А. А., Данилов В. В., Гусев О. Б. и др. Акустооптический анализатор спектра // Приборы и техника эксперимента. — 1992. — № 6. — С. 205.

2. Данилов В. В., Белик Т. В., Деркаченко Е. В. и др. Лазерное модуляционное устройство // Там же. — 1992. — № 4. — С. 236–237.

3. Гриб Б. Н., Кондиленко И. И., Коротков П. А., Цяченко Ю. П. Электрооптические дефлекторы света. — Киев: Техніка, 1980.

4. Данилов В. В., Данилова Г. В., Белик Т. В., Плотниченко В. Г. Световодный ИК радиометр для медицинской диагностики // Тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. «ВОЛСПИ-95». — Запорожье, 1995. — С. 16–17.

5. Данилов В. В., Роганов Л. М., Чуркин А. В. Акустооптические элементы межблочной волоконно-оптической связи для высокопроизводительных вычислительных средств // Там же. — С. 32–35.

6. Кондратенков Г. С. Обработка информации когерентными оптическими системами. — М.: Сов. радио, 1972.

7. Клудзин В. В. Физические основы построения акустооптических устройств. — Л.: Ленингр. электротехнич. ин-т, 1980.

8. Балакший В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики. — М.: Радио и связь, 1985.

9. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. — М.: Наука, 1970.

10. Ярив А. Введение в оптическую электронику. — М.: Высшая школа, 1983.

С. В. ЗАВЬЯЛОВ

Украина, Одесский гос. политехнический ун-т

Дата поступления в редакцию
10.12.1999 г.

Оппоненты д. т. н. В. А. МОКРИЦКИЙ,
к. ф.-м. н. С. М. РОТНЕР

НОВЫЕ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Предлагается технология производства нетрадиционных подложек из анодно-оксидированного алюминия, по изоляционным свойствам значительно превосходящих традиционные подложки из керамики.

Синтез углеродных алмазоподобных пленок (АПП) осуществляется плазмохимическим методом из жидкого органического реагента с ВЧ-ассистированием [1]. Легирование АПП металлами, такими как Cr, W, Ti, значительно расширяет их свойства. Электропроводные АПП обладают такими важными для создания элементов электроники свойствами, как высокая стабильность проводимости, низкая величина температурного коэффициента сопротивления ($10^{-6} - 10^{-4}$ 1/К), широкий диапазон удельного сопротивления ($10^{-4} - 10^9$ Ом·см), стойкость к сверхбольшим (более 10^6 А/см²) плотностям тока, превышающая миграционный предел меди, высокая однородность распределения сопротивления по поверхности подложки, низкий уровень шумов, высокая

износостойкость и микротвердость, радиационная и термостойкость. Это позволяет использовать их для создания пассивной элементной базы электроники с мощностью рассеяния до 150 Вт/см² в сочетании с малыми размерами — резисторов, нагревательных элементов и т. д.

Для полной реализации принципиальных возможностей электропроводных АПП требуется решение еще некоторых проблем. Одна из них — замена традиционных подложек из керамики на более совершенные, обладающие высокой теплопроводностью и возможностью изоляции АПП. Однако в одном материале такие свойства не сочетаются.

Лучшим теплопроводящим материалом с точки зрения экономичности и технологичности является алюминий, но он не диэлектрик. Диэлектрическую пленку на поверхности алюминия образует его оксид. Однако такая пленка, формирующаяся естественным образом, не отвечает требованиям, предъявляемым к материалам подложек под АПП.

Оксидный слой на алюминии может быть сформирован путем анодного окисления. Основными

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

требованиями к анодно-оксидированному покрытию (АОП) на алюминии являются однородность, отсутствие сквозных пор и микротрещин, толщина около 80–100 мкм, стойкость к температуре порядка 300–350°C, удовлетворительные диэлектрические свойства, высокие твердость, прочность и эластичность, соответствующие условиям последующих процессов синтеза и отжига алмазоподобных пленок [1]. Выполнение этих требований затрудняется различием значений температурного коэффициента линейного расширения алюминия ($23 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) и оксида ($5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Алюминий при нагревании существенно расширяется, а АОП при температуре 350°C дает усадку из-за потери адсорбционной кристаллизационной воды. В результате этого наступает разрыв окисной пленки. Микротрещины иногда образуются при более низкой температуре (80–100°C), что накладывает достаточно серьезные ограничения на температурные режимы осаждения АПП. Свойства АОП зависят от марки алюминия, состава электролита и режимов анодирования, а также завершающей операции заполнения пор в структуре АОП.

В данной работе из технического алюминия марки АД-1 и алюминиевых сплавов АМГ-2М, АМГ-3М, АМЦ для последующего анодирования формировались пластины с размерами традиционных подложек под АПП 60×48×1,5 мм. Для обеспечения требуемого состояния поверхности образцов (глубина микронеровностей 0,02 мкм) проводились все необходимые операции всех этапов обработки [2, с. 30–44]. Качество анодирования существенно зависело от последней операции — полирования пластин [3]. В работе использовалось электрохимическое полирование в растворе следующего состава: ортофосфорная кислота (плотность $\rho=1,7 \text{ г/см}^3$) — 50 г/л, серная кислота ($\rho=1,84 \text{ г/см}^3$) — 39 г/л, хромовый ангидрид — 3 г/л, дистиллированная вода — 8 г/л. Формирующее напряжение составляло 12–18 В, плотность тока — 20 А/дм² при температуре 75–85°C. Процесс длился от 1 до 10 мин.

Формирование АОП проводилось в наиболее популярных и экономичных составах электролитов и режимах анодирования [2–4] (табл. 1) на уста-

новке полупромышленного типа, снабженной холодильным агрегатом [2].

Наиболее стабильно и управляемо проходил процесс образования АОП в электролите СЩ-100-30. Однако во всех случаях полученный оксид был пористым, что не позволяло осаждать на нем тонкопленочные проводящие структуры. Поэтому перед синтезом АПП необходимо проводить заполнение пор и микротрещин в АОП. Частично заполнить поры можно кипячением в дистиллированной воде, что приводит к образованию в порах рыхлого слоя оксида алюминия. Для более эффективного уплотнения на поверхность АОП наносят грунующие покрытия.

Известны три основных методики грунтовки поверхности АОП [4]: пропитка их полимером с последующим отверждением, напыление диэлектрика, напыление алюминия и его окисление. В данной работе АОП уплотнялись первым способом, который обеспечивает надежное заполнение макро- и микропор по всей поверхности. В качестве полимера использовали полиимидный лак АД-9103, поливисан, анатерм IV [3, 5]. Избытки полимерного покрытия удалялись механическим путем, что позволило дополнительно повысить класс чистоты обработки поверхности АОП. Лучшие результаты получены при использовании анатерма IV, который наносился на подложку методом окунания с последующей полимеризацией ультрафиолетовым излучением. Избытки полимеризованного слоя распылялись в кислородной плазме и анатерм оставался только в порах. Полимеризация при температуре 300–350°C представляется хорошей тренировкой АОП для последующего синтеза АПП.

В табл. 2 приведены значения пробойного напряжения для образцов АОП, уплотненных кипячением в дистиллированной воде (*) и анатермом IV (**).

АОП толщиной порядка 80 мкм, сформированные в электролите СЩ-100-30 на алюминии марки АД-1 и уплотненные полимеризацией в анатерме IV, показали удовлетворительные диэлектрические свойства: пробойное напряжение около 1800 В, элект-

Таблица 1

Составы электролитов, режимы анодирования и параметры АОП

Номер состава	Состав и концентрация электролита, г/л	Плотность тока, А/дм ²	Температура, °С	Продолжительность, мин	Предельная толщина, мкм	Термостойкость, °С
1	Щавелевая кислота, 40–60	3–3,5	20–25	120–150	> 100	250–300
2	Сульфосалициловая кислота, 100; щавелевая кислота (СЩ-100), 30	3	30–40	120–180	> 100	300–400
3	Серная кислота, 108–115; щавелевая кислота, 18–20	2,5–4	0–12	90–120	120–150	250–270
4	Щавелевая кислота, 50; борная кислота, 10–15; лимонная кислота, 30	2,5	20–40	120	60–80	250–350
5	Ортофосфорная кислота, 40–50; щавелевая кислота, 30; лимонная кислота, 10–30; спирт изопропиловый, 50; алюминий сернокислый, 1	1,5–2	5–10	30	40	450–500

Таблица 2

Сравнительный анализ анодно-оксидированных покрытий

Вид обработки АОП	На основе серной кислоты (состав №3)		На основе ортофосфорной кислоты (состав №5)		СЦ-100-30 (состав № 2)	
	*	**	*	**	*	**
Температура отжига, °С	100, 300					
Цикл термообработки, мин	30, 30					
Способ уплотнения	*	**	*	**	*	**
Формирующее напряжение, В	75	–	150	–	90	–
Пробойное напряжение, В	800	>1200	1000	>1600	1000	>1800

Таблица 3

Теплопроводность подложек, используемых для синтеза алмазоподобных пленок

Материал подложки	Керамика ВК94-1	Керамика ВК100	Si ₃ N ₄	AlN	Al		АОП на Al
					АД-1	Сплавы	
Теплопроводность, Вт/(м·К)	10–12	35	35	80–120	150	<120	80–100

рическая прочность 22,5 В/мкм, сопротивление изоляции 7,5·10¹¹ Ом.

Сравнение теплопроводности традиционных подложек и таких АОП показывает значительные преимущества последних (табл. 3).

Сформированные АОП использовались в качестве подложек для АПП, на основе которых создавались резисторы с удельной мощностью рассеяния 150–200 кВт/м², а также нагреватели проточной воды и подобные изделия.

Разработанная технология позволяет получать на алюминии оксидные покрытия с удовлетворительными диэлектрическими свойствами, имеющие преимущества перед традиционными подложками из керамики. Внедрение анодно-оксидированных покрытий в технологию производства алмазоподобных пленок позволит значительно снизить затраты на

производство элементов и создавать подложки любой конфигурации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Мокрицкий В. А., Ротнер С. М., Завьялов С. В. Технология получения легированных АПП // Сб. тр. ОGPU. – 1999. – Вып. 3 (9). – С. 183–187.
2. Аверьянов Е. Е. Справочник по анодированию. – М.: Машиностроение, 1988.
3. Гонган С. П. Электронные преобразователи и технология их изготовления: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кишинэу, 1999.
4. Короткевич А. В., Коцаренко В. А., Плешкин В. А. Расширение функциональных возможностей подложек ГИС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – № 4'92–1'93. – С. 3–7.
5. Сокол В. А., Костюченко С. А. Алюминиевые подложки для гибридных интегральных микросхем // Обмен опытом в радиопромышленности. – 1982. – № 7. – С. 87–88.

Викулина Л. Ф., Глауберман М. А. Физика сенсоров температуры и магнитного поля. — Одесса : Маяк, 2000. — 244 с.

Рассмотрены физические принципы работы сенсоров — чувствительных элементов, преобразующих различные виды неэлектрических воздействий (температура и магнитное поле) в электрический сигнал. Основное внимание уделено полупроводниковым сенсорам. Приводятся теоретические соотношения, определяющие их параметры, а также основные характеристики сенсоров, выпускаемых промышленностью. Указаны области их применения.

Корнейчук В. И., Лесовой И. П. Волоконно-оптические измерения. — К. : Наукова думка, 1999. — 323 с.

Изложены физические принципы функционирования компонентов, модулей и систем передачи информации, использующих кварцевые волокна в качестве среды распространения оптических сигналов. Описаны основные измеряемые на практике характеристики и параметры сигналов и устройств. Приведены методики измерений, рекомендуемые международными организациями (ETSI, ITU, CENELEC и др.) Рассмотрены основы построения и параметры современного контрольно-измерительного оборудования для волоконно-оптических систем передачи.

Для инженерно-технических работников предприятий электросвязи, систем кабельного телевидения и локальных вычислительных сетей. Может быть полезной студентам вузов и техникумов, обучающихся по специальности «Телекоммуникации».

