

АНОДИРОВАННЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ГИГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Д. Л. Шиманович¹, В. А. Яковцева¹, В. А. Сокол¹, Е. Д. Беспрозванный²

¹ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), Минск, Беларусь

²ООО «РУСАЛОКС», Москва, Россия

Аннотация. На основе анализа параметров микрополосковых линий передачи приводятся аргументы в пользу использования анодированных алюминиевых подложек для устройств гигагерцового диапазона. Учитывая, что алюминий к тому же является хорошим конструкционным материалом, делается вывод о перспективности использования анодированных алюминиевых подложек в микроволновых СВЧ-устройствах, работающих при повышенных частотах и мощностях.

Ключевые слова: анодированный алюминий; микрополосковая линия передачи; устройство гигагерцового диапазона

ANODIZED ALUMINUM SUBSTRATES FOR GIGAHERTZ DEVICES

D. L. Shimanovich¹, V. F. Yakovtseva¹, V. A. Sokol¹, E. D. Besprozvanny²

¹ Belarussian state university of informatics and radioelectronics (BSUIR), Minsk, Belarus

²LLC "RUSALOX", Moscow, Russia

Abstract. Based on analysis of the microstrip line parameters, arguments for anodized aluminum substrates for gigahertz devices are adduced. Taking into consideration that aluminum is good structural material, it is concluded that anodized aluminum substrates are very promising for microelectronic microwave devices operating at high frequencies and powers.

Keywords: anodized aluminum; microstrip line; gigahertz device.

1. ВВЕДЕНИЕ

По решению Международного комитета по радиочастотам сегодня разрешено использование частот до 1000 ГГц [1]. При освоении частот этого диапазона толщина оснований печатных плат должна уменьшаться до 100 – 200 мкм. Но использование таких тонких оснований в производстве представляет собой серьезную проблему из-за хрупкости подложек. Кроме того, на гигагерцовых частотах резко возрастают требования к точности воспроизведения как геометрических размеров, так и электрофизических параметров элементов. В такой ситуации представляется перспективным использование анодированных алюминиевых подложек с диэлектрическим слоем оксида алюминия. Тонкие слои оксида алюминия толщиной от единиц до сотен микрон формируются методом электрохимического анодирования. Контролируя плотность тока и время анодирования, можно формировать слои анодного оксида алюминия с высокой точностью (до $\pm 1\%$). Алюминиевые подложки изготавливаются из широко распространенных промышленных сплавов. Диэлектрическая проницаемость анодного оксида алюминия 5 – 6,5; минимальные потери $\text{tg}\delta < 10^{-3}$. При создании СВЧ-устройств на оксидный слой осаждается медь

толщиной 10 – 50 мкм. Активные элементы мощных СВЧ-устройств располагаются в окнах в слое оксида.

2. МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ОСНОВАНИЯХ

Основой для создания коммутационных элементов микроэлектронных устройств гигагерцового диапазона является система микрополосковых линий (МПЛ). Для оценки возможностей и эффективности использования микрополосковых линий передачи на основе пленок алюминия, расположенных на алюминиевых подложках с анодным диэлектрическим слоем, провели краткий анализ достижимых параметров таких МПЛ на основе общеизвестных представлений о взаимосвязи этих параметров с характерными размерами МПЛ и используемыми параметрами [2]. На рис. 1 представлена анализируемая микрополосковая линия передачи. Ее основными параметрами являются: волновое сопротивление, коэффициент потерь, предельная передаваемая мощность, длина волны и ее дисперсия.

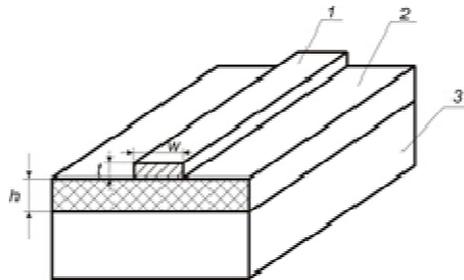


Рис. 1. Микрополосковая линия передачи: (1) алюминиевый проводник, (2) диэлектрический слой анодного оксида алюминия, (3) алюминиевая подложка.

Существует достаточное количество выражений для расчета указанных параметров. Однако они громоздки и неудобны для анализа. Поэтому мы воспользуемся более наглядными табличными данными. В таблице 1 приведены расчетные данные [3], для волнового сопротивления и эффективной диэлектрической проницаемости МПЛ с полоском различной толщины при диэлектрической проницаемости анодного оксида $\varepsilon = 5,6$. Буквенные обозначения в таблице приведены на рис. 1.

Из таблицы 1 хорошо прослеживается зависимость волнового сопротивления от геометрических размеров, указанных на рис. 1. Важно отметить, что для получения заданного волнового сопротивления и повышения степени интеграции (уменьшения ширины полосков) необходимо уменьшить толщину диэлектрического слоя (h). Так, для $Z_B=70$ Ом и толщины полоска $50 \cdot 10^{-6}$ м, толщина диэлектрического слоя должна составлять $100 \cdot 10^{-6}$ м. Естественно, что получение диэлектрической подложки такой толщины практически невозможно. Отсюда следует первый весьма важный аргумент в пользу анодированных металлических подложек, состоящий в том, что в них диэлектрический слой теряет функцию несущей части конструкции микросборки СВЧ. Эту функцию начинает выполнять алюминиевая подложка, на которую также возлагается функция металлического экранного слоя, который ранее специально формировался на обратной стороне диэлектрической подложки.

Таблица 1. Волновое сопротивление (Ом) и эффективная диэлектрическая проницаемость МПЛ с полоском различной толщины

W/h	t/h					
	0		0,01		0,1	
	Z _B	ε _{эф 0}	Z _B	ε _{эф 0}	Z _B	ε _{эф 0}
0,1	109,03	5,82	106,8	5,67	97,88	5,11
0,25	85,16	5,97	84,2	5,88	79,36	5,47
0,50	67,23	6,16	66,79	6,10	64,04	5,79
1,00	49,79	6,45	49,64	6,42	46,23	6,19
1,50	40,19	6,69	40,13	6,68	39,25	6,49
2,00	33,87	6,9	33,84	6,89	30,24	6,73
5,00	17,71	7,69	17,7	7,68	17,6	7,62
10,00	9,93	8,32	9,88	8,27	9,91	8,3

Расчетная оценка величины потерь из-за отсутствия экспериментальных данных по параметрам толстых пористых оксидов в диапазоне СВЧ не представлялась возможным. Однако, как показано нами [4], величины потерь, определенные экспериментально в МПЛ на поликоровой подложке и на алюминиевой подложке с анодным оксидом алюминия сравнимы. Это второй аргумент в пользу использования алюминиевых оснований в диапазоне СВЧ.

Предельная частота волны, распространяющейся в МПЛ, определяется возникновением поверхностной волны, распространяющейся по поверхности диэлектрического слоя вдоль границы раздела диэлектрик – воздух. Частота (ГГц), на которой возникают указанные паразитные поверхности волны, и до которой возможно использование МПЛ, определяется по формуле [3]:

$$f = \frac{75}{h} \sqrt{\epsilon_r - 1} \quad (1)$$

Из формулы видно, что предельная рабочая частота МПЛ растет с уменьшением толщины диэлектрического слоя, которую весьма удобно варьировать на алюминиевых основаниях и что является третьим аргументом в их пользу.

Не менее важным, а в ряде случаев, например, в случае мощных схем СВЧ, самым важным аргументом в пользу использования анодированных алюминиевых подложек является предельная средняя мощность, которую можно передать через МПЛ в непрерывном режиме. Эта мощность ограничивается погонными потерями, тепловым сопротивлением материала подложки и допустимыми температурами перегрева материала основания и полоски. В этой связи следует заметить, что если МПЛ на диэлектрических и алюминиевых подложках сравнимы по потерям, то по тепловым сопротивлениям МПЛ на анодированных алюминиевых подложках в 10 и более раз превосходят МПЛ на диэлектрических подложках. Допустимая мощность рассеяния транзисторов возрастает в 2,5 раза. Более того, нельзя забывать, что на подложке монтируются мощные СВЧ активные элементы, отвод тепла от которых становится

принципиальным. Все эти доводы, а также учитывая, что алюминий является хорошим конструкционным материалом, позволяют сделать вывод о большой перспективности использования анодированных алюминиевых подложек в микроволновых СВЧ-устройствах, работающих при повышенных частотах и мощностях.

3. СВЧ-ГЕНЕРАТОР

Практическую реализацию микрополоскового устройства СВЧ покажем на примере генератора на диоде Ганна. Полупроводниковый кристалл помещен в углубление на анодированной алюминиевой подложке, к микрополосковой схеме он присоединяется с помощью навесных межсоединений.

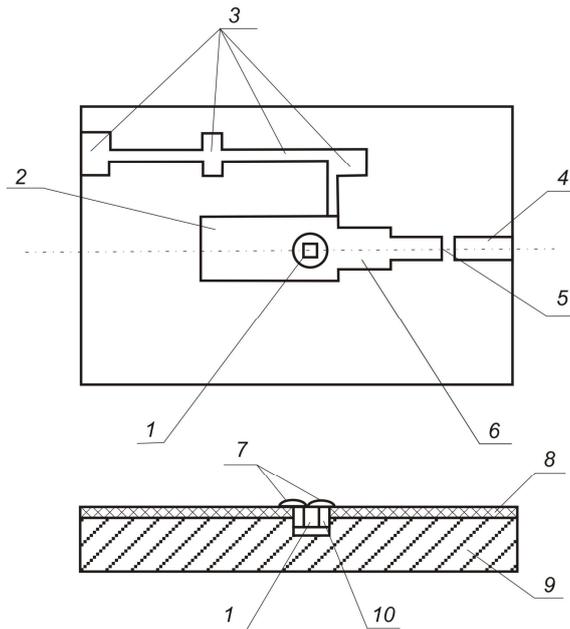


Рис. 1. Топология генератора на диоде Ганна: 1 – полупроводниковый кристалл; 2 – полуволновой резонатор; 3 – фильтр по питанию; 4 – 50-омный СВЧ-выход; 5 – разводка по постоянному току; 6 – четвертьволновой согласующий трансформатор; 7 – навесные межсоединения; 8 – диэлектрическое покрытие; 9 – Al основание; 10 – углубление под кристалл.

В таблице 2 приведены выходные электрические характеристики микрополоскового генератора на диоде Ганна (3А-715), сформированного на алюминиевых подложках, изготовленных по алюмооксидной технологии [4].

Таблица 2. Выходные характеристики микрополоскового генератора на диоде Ганна 3А-715

Волновое сопротивление МПЛ, Ом	30	50	70
Выходная мощность, МВт	65	55	45
Напряжение питания, В	9	9,6	10
К.п.д.	3,2	3,0	2,5

Сравнение характеристик аналогичных генераторов на поликоровой и алюминиевой подложке показало их практическую идентичность, что является

обнадеживающим результатом и создает уверенность о перспективности применения анодированных алюминиевых подложек в микроэлектронных СВЧ-устройствах.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе анализа параметров микрополосковых линий передачи приведены аргументы в пользу использования анодированных алюминиевых подложек с диэлектрическим слоем анодного оксида алюминия для устройств гигагерцового диапазона. Функцию несущей части конструкции микросборки СВЧ выполняет алюминиевая подложка на которую также возлагается функция металлического экранного слоя, который специально формируют на обратной стороне диэлектрической подложки. Величины потерь, определенные экспериментально в МПЛ на поликоровой подложке и на алюминиевой подложке со слоем анодного оксида алюминия, имеют сравнимые значения. Предельная рабочая частота МПЛ растет с уменьшением толщины диэлектрического слоя, которую весьма удобно варьировать на алюминиевых подложках. Предельная средняя мощность, которую можно передать через МПЛ в непрерывном режиме, в несколько раз больше для приборов, выполненных на алюминиевых подложках.

Все эти доводы, а также учитывая, что алюминий является хорошим конструкционным материалом, позволяют сделать вывод о перспективности использования анодированных алюминиевых подложек в микроэлектронных СВЧ-устройствах, работающих при повышенных частотах и мощностях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кренделев А.Е. Технологические средства изготовления микрополосковых линий для ГИС КВЧ-диапазона. // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2002, № 4–5. – С.33–39.
2. Филатов И.Н., Баркунов О.А., Панасенко П.В. Микроэлектронные СВЧ-устройства. М.: Высшая школа, 1987. – 94 с.
3. Shin Seong-Ho, Kwon Young-Se. Selectively anodized aluminum substrates for microwave power module package. *Proceedings, 55th Electronic Components and Technology Conference*, 2005, V. 2. – P. 1904-1908.
4. Сокол В.А., Турцевич А.С., Белоус А.И. Светодиодные устройства на алюминиевом основании. // *Электронная промышленность*, 2012, №1. – С.11–14.

REFERENCES

1. Krendeleev A.E. Technological methods of the microstrip fabrication for the EHF HICs. // *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2002, No 4-5. – Pp. 33-39.
2. Filatov I.N., Barkunov O.A., Panasenko P.V., *Microelectronic microwave devices*. Moscow, Vysshaya shkola, 1987, – 94 p.
3. Shin Seong-Ho, Kwon Young-Se. Selectively anodized aluminum substrates for microwave power module package. *Proceedings, 55th Electronic Components and Technology Conference*, 2005, V. 2. – P. 1904-1908.
4. Sokol V.A., Turtsevich A.S., Belous A.I. Aluminum - based light diode devices, // *The electronic industry*, 2012, No 1. – Pp. 11-14.