

Применение CVD-алмаза и технологий его обработки в конструкции СВЧ-диодов

М.П. Духновский, Е.Н. Куликов, Д.В. Пухов, И.В. Тарасов

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: в данной работе представлен способ изготовления теплопроводов и диэлектрических втулок из поликристаллического CVD-алмаза для СВЧ-диодов, проведены измерения ёмкостных характеристик и выполнены расчёты диэлектрической проницаемости втулок из рубина и алмаза различного качества.

Ключевые слова: CVD-алмаз, СВЧ-диод, теплоотвод, диэлектрик, теплопроводность, металлизация алмаза, обработка алмаза

Твердотельные источники СВЧ излучения средней и малой мощности находят широкое применение в науке и технике благодаря высокой надёжности, долговечности, малым размерам и массе. В настоящее время, наряду с транзисторными и гибридными микросхемами, диодами Гана, в качестве активных элементов используются лавинно-пролётные диоды (ЛПД) [1].

Малая ёмкость – важный параметр из множества характеристик СВЧ-диола, в том числе и ЛПД [2]. Для усовершенствования корпуса ЛПД требуется уменьшение ёмкости диэлектрической втулки (или изолятора) и уменьшение индуктивности выводов. Снижения паразитной ёмкости корпуса можно достичь уменьшением внешнего диаметра диэлектрической втулки при постоянном внутреннем диаметре, увеличением её высоты, применением диэлектрика с меньшим значением диэлектрической проницаемости.

В данной работе модернизация корпуса ЛПД проводилась путём замены ставших традиционными рубиновых втулок на CVD-алмазные поликристаллические. На рисунке 1 представлена фотография диэлектрической втулки из поликристаллического CVD-алмаза с золотой металлизацией. Изменение материала изолятора позволяет, в первую очередь, добиться уменьшения ёмкости и, как следствие, увеличения частоты работы диода. Алмаз имеет меньшую диэлектрическую проницаемость ($\epsilon=5,5-10$) чем рубин ($\epsilon=11,3$), частота работы диода поднимется согласно выражению (1). Втулка представляет собой конденсатор, ёмкость которого рассчитывается по выражению (2).

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (2)$$

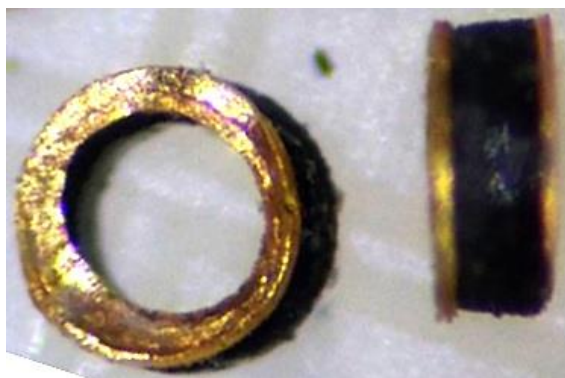


Рисунок 1. Диэлектрическая втулка из поликристаллического CVD-алмаза с золотой металлизацией.

Одним из недостатков диодных источников СВЧ излучения является их чувствительность к нагрузке.

Теплоотводы из меди обычно в несколько раз превосходят по размерам охлаждаемый элемент. Применение таких теплоотводов позволяет достичь эффективного охлаждения, однако, в случае миниатюрных полупроводниковых приборов, площадь теплового контакта оказывается очень малой. Рассеяние тепла теплоотводами из таких материалов иногда оказывается недостаточным. CVD алмаз обладает в несколько раз большей теплопроводностью (2000 Вт/м·К), чем медь (400 Вт/м·К). Следовательно, использование алмазных теплоотводов в конструкции ЛПД позволит поднять мощностные характеристики диода в 1,5-2 раза, за счёт уменьшения теплового сопротивления и увеличения рассеиваемой мощности [3]. На рисунке 2 приведены фотографии кристаллодержателей ЛПД с алмазным теплоотводом.

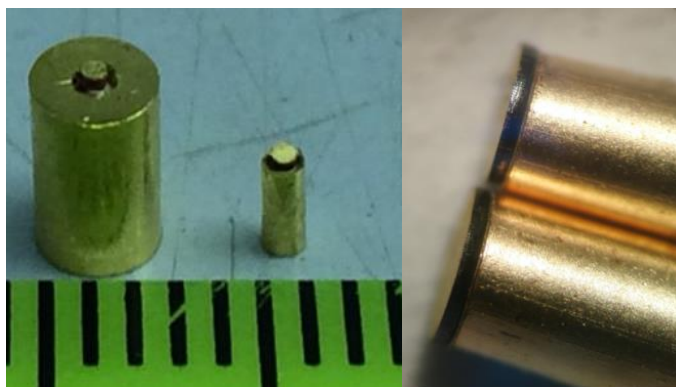


Рисунок 2. Кристаллодержатели ЛПД с алмазным теплоотводом.

Использование CVD-алмаза затруднено рядом технологических сложностей, обусловленных свойствами этого материала. Высочайшая твёрдость и химическая стойкость не позволяют применять распространённые методики и инструменты для обработки алмаза. В данной работе используются уникальные, разработанные в АО "НПП "Исток" им. Шокина", технологии (прецизионная лазерная резка, термошлифовка, удаление графита и электрической проводимости, образовавшихся вследствие воздействия высоких температур, высокоадгезионная теплопроводящая металлизация под пайку и так далее), позволяющие обрабатывать алмаз с высокой точностью и скоростью при минимальных трудозатратах. На рисунке 3 приведена фотография кристаллодержателя с алмазным теплоотводом и диэлектрической втулкой из поликристаллического CVD-алмаза с установленным и разваренным ЛПД.



Рисунок 3. Кристаллодержатель с алмазным теплоотводом и диэлектрической втулкой из поликристаллического CVD-алмаза с установленным и разваренным ЛПД.

В работе представлен способ изготовления теплоотводов и диэлектрических втулок из поликристаллического CVD алмаза, проведён монтаж теплоотвода из поликристаллического CVD алмаза на кристаллодержатель. Проведены измерения ёмкостных характеристик и выполнены расчёты диэлектрической проницаемости втулок из рубина и алмаза различного качества (более качественного и чистого белого алмаза с чёрным.). Полученные на практике результаты сведены в таблице 1.

Таблица 1. Практические результаты

Материал	Толщина d, мкм	Ёмкость C, пФ	ϵ
Рубин	200	0,09	12,95
Чёрный CVD алмаз	154	0,066	7,3
Белый CVD алмаз	156	0,051	5,7

Из данных таблицы 1 видно, что алмазные втулки имеют меньшую ёмкость, нежели рубиновые. Втулка из белого алмаза обладает самой низкой ёмкостью, что делает его наиболее пригодным материалом.

Список литературы

1. Тагер, А.С. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ / А.С. Тагер, В.М. Вальд-Перлов. – М.: Советское радио, 1968.
2. Шухостанов, А. К. Лавинно-пролётные диоды / А. К. Шухостанов. – Москва: Радио и связь, 1997. – 208 с.
3. Ратникова А. К. Создание высокоэффективных теплоотводов на основе поликристаллического алмаза для мощных полупроводниковых приборов: дис. ... кандидат технических наук. Федеральное Государственное Унитарное Предприятие НПП «Исток», Фрязино, 2012.