

*Дерябкин А.В., Куликов Е.Н., Смирнова А.К.  
АО «НПП «Исток» им. Шокина»*

## **Разработка и применение базовых технологий обработки алмаза для ЛБВ нового поколения трёхмиллиметрового диапазона**

*Предложена технология создания замедляющей системы из поликристаллического алмаза для лампы бегущей волны 3-мм диапазона длин волн, основанная на применении уникальных методик обработки алмаза*

**Ключевые слова:** поликристаллический CVD-алмаз, замедляющая система, лампа бегущей волны, лазерная резка, термошлифовка, металлизация алмаза.

Одним из перспективнейших направлений, активно развиваемых в АО «НПП «Исток» им. Шокина» в настоящее время, стала алмазная электроника. Продолжая многолетнюю работу по изучению и внедрению алмаза в производство приборов, на предприятии были разработаны технологии, позволяющие работать с этим материалом.

К ключевым базовым технологиям обработки алмаза, разработанным в АО «НПП «Исток» им. Шокина» [1-5], относятся:

- прецизионная лазерная резка,
- термошлифовка,
- удаление графита и электрической проводимости, образовавшихся вследствие воздействия высоких температур (свыше 1000 °С) при лазерной резке и термошлифовке,
- высокоадгезионная теплопроводящая металлизация под пайку,
- создание проводящих областей алмаза.

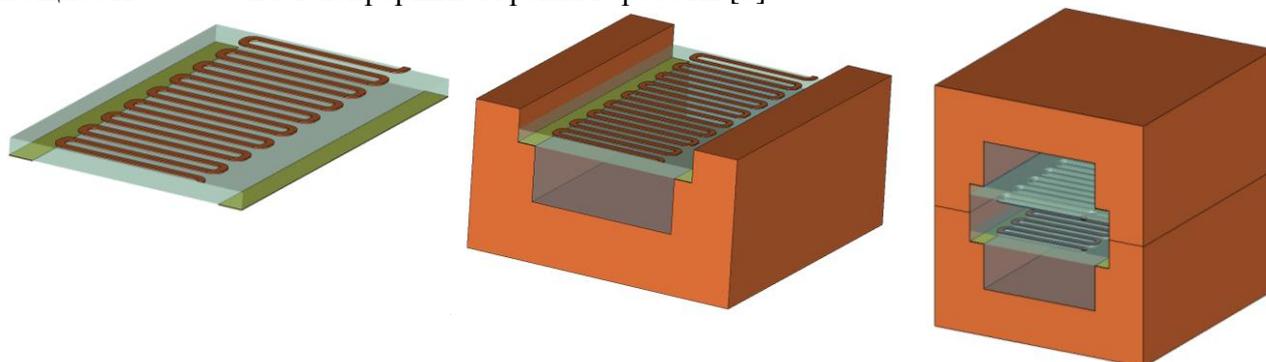
Разработанные технологии успешно внедрены в производство металлизированных алмазных теплоотводящих подложек для последующего монтажа на них мощных транзисторов, используемых в импульсных источниках электропитания, СВЧ усилителей для активных фазированных антенных решёток, карбидокремниевых диодов Шоттки, замедляющей системы (ЗС) типа «меандр» для лампы бегущей волны (ЛБВ) 3-мм диапазона (W-диапазон).

В последние годы происходит продвижение вакуумных приборов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Однако наиболее востребованы, в том числе и в России, приборы К- и W-диапазонов. Наиболее перспективными являются ЛБВ, обеспечивающие широкую полосу рабочих частот и тепловую устойчивость. Такие приборы найдут широкое применение в системах высокоточной радиолокации, радиовидения, связи и в медицине.

Для создания таких ЛБВ к материалу ЗС предъявляются следующие требования: высокая теплопроводность, низкий коэффициент диэлектрической проницаемости, высокая механическая прочность, которым полностью соответствуют поликристаллический CVD-алмаз. Благодаря высокой теплопроводности ( $\lambda=2000$  Вт/м·К), алмаз позволяет быстро отводить большое количество тепла, так как затруднённый теплоотвод от ЗС сдерживает увеличение мощности приборов. Низкий коэффициент диэлектрической проницаемости ( $\epsilon=5,7$ ) позволяет уменьшить длину лампы, так как

снижается диэлектрическая нагрузка на ЗС. Высокая механическая прочность, даёт возможность уменьшить геометрические размеры лампы и сформировать ЗС сложной формы, приподнять меандр на 50 мкм, тем самым снизить вероятность оседания электронного пучка на диэлектрическую подложку алмаза.

Расчеты теоретического отделения АО «НПП «Исток» им. Шокина» показывают, что при реализации предложенной ЗС (рис.1) в ЛБВ можно получить в 3-мм диапазоне мощность 30...50 Вт в непрерывном режиме работы [6].



а) б)  
Рис. 1. 3D-модель замедляющей системы ЛБВ: а) из алмаза, б) в корпусе.

- Далее приведены основные технологические этапы изготовления ЗС ЛБВ:
- 1) лазерная резка пластины CVD-алмаза на заготовки в габаритный размер ЗС;
  - 2) термошлифовка заготовок ЗС, формирование заданного профиля (рис.2);

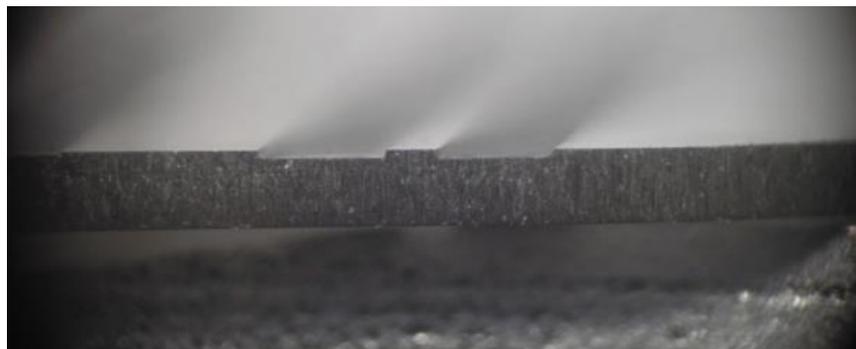
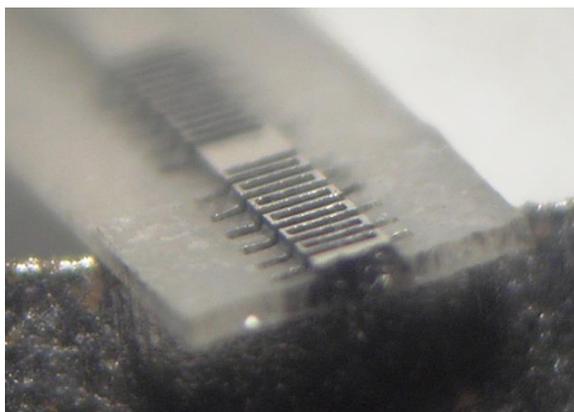
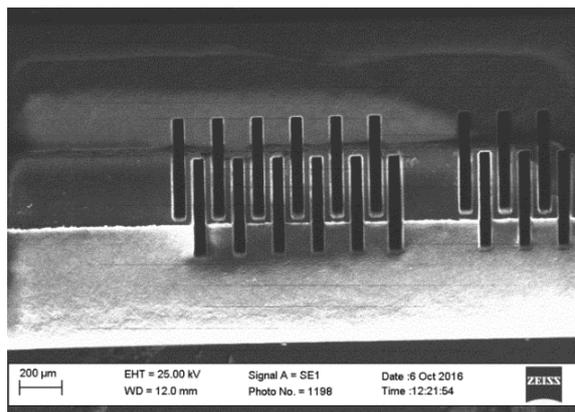


Рис. 2. Микрофотография профилированной заготовки ЗС.

- 3) лазерная резка с целью формирования меандра из профилированной заготовки (рис.3);



а)



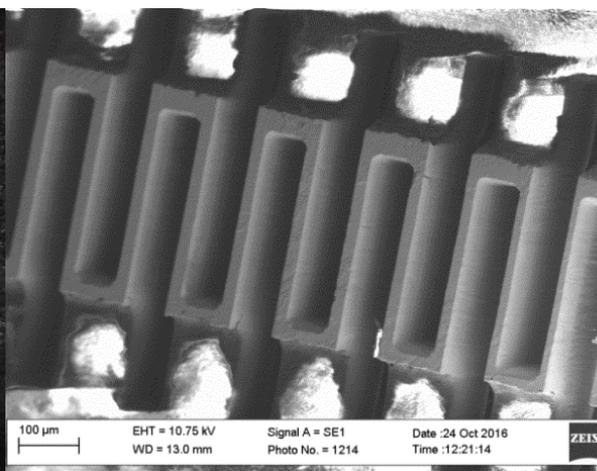
б)

Рис. 3. Изображение элемента заготовки ЗС после лазерной резки:  
а) с оптического микроскопа, б) с растрового электронного микроскопа.

- 5) очистка заготовки ЗС от графитизированных слоёв;
- 6) создание высокоадгезионного подслоя:
  - напыление Si на меандр и области под пайку с обратной стороны заготовки ЗС,
  - ионное легирование для формирования слоёв Si – SiC – алмаз,
  - термический отжиг слоёв;
- 7) металлизация:
  - напыление слоёв W, Ni через трафарет на меандр и областей под пайку с обеих сторон заготовки ЗС (рис.4);



а)



б)

Рис. 4. Изображение элемента заготовки ЗС после напыления металлизации:  
а) с оптического микроскопа, б) с растрового электронного микроскопа.

- гальваническое осаждение Au на меандр.

По предложенному технологическому маршруту были изготовлены первые макетные образцы ЗС из поликристаллического CVD-алмаза.

#### Библиографический список

1. Духновский М.П., Крысов Г.А., Ратникова А.К. Металлизация пластин из искусственного CVD-алмаза. Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. Вып. 1(494). 2008. С.3-7.

2. Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю., Кудряшов О.Ю., Леонтьев И.А. Термическая обработка поликристаллического CVD-алмаза с целью формирования гладкой поверхности. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, 2008. Вып. 2 (495). С.41-46.
3. Вяхирев В.Б., Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю. Изолирующие теплоотводы на основе CVD-алмаза для силовой электроники. Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, 2009. Вып. 3 (502). С.36-40.
4. Ратникова А.К. Теплоотводящие подложки на основе поликристаллического CVD-алмаза. Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника, 2011. Вып. 3 (510). С.76-86.
5. Мальцев П.П., Редькин С.В., Глинский И.А., Побойкина Н.В., Духновский М.П., Федоров Ю.Ю., Смирнова А.К., Куликов Е.Н., Щербаков С.В., Леонтьев И.А., Кудряшов О.Ю., Скрипниченко А.С. Алмазные наноструктуры для теплоотводов СВЧ полупроводниковой электроники. Российские нанотехнологии. № 7–8 (июль – август), Т. 11, 2016 г. С.82-88.
6. Ракова Е.А., Галдецкий А.В. Планарная замедляющая система мм диапазона – проектирование и исследование технологии изготовления. 26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Материалы конференции в двух томах. 4-10 сентября 2016 г., г. Севастополь, Крым, Россия, том 1, стр.339.