

**Е.Н. Куликов, А.В. Дерябкин, М.П. Духновский,  
Ю.Ю. Фёдоров**

*АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. Шокина»*

## **Формирование цельноалмазных корпусов для высокотеплонагруженных СВЧ-приборов из поликристаллического CVD алмаза**

*Представлены результаты разработки технологии изготовления цельноалмазных корпусов для мощных СВЧ-приборов из поликристаллического CVD-алмаза.*

**Ключевые слова:** корпус, CVD-алмаз, теплопроводность, транзистор.

В условиях постоянно растущих требований к мощности, энергетической и экономической эффективности, надёжности, а также к массогабаритным характеристикам современных и перспективных приемопередающих устройств СВЧ диапазона, остро встаёт проблема отвода тепла от наиболее теплонагруженных узлов. Применение нитрида галлия (GaN) в производстве транзисторов может позволить поднять их выходную мощность в 10, по сравнению с транзисторами на арсениде галлия (GaAs), при прочих равных параметрах. Микроскопические размеры области тепловыделения (около 10мкм) с огромным тепловым потоком делают нерешаемой задачу эффективного отвода тепла, при сохранении миниатюрных размеров прибора, с использованием классических материалов, таких как медь и её сплавы, молибден, алюмооксидная, бериллиевая, алюмонитридная, ЛТТС керамика и т.д. Для преодоления этой проблемы нужны новые материалы и новые подходы. Эффективные теплоотводящие элементы необходимо переносить как можно ближе к источнику выделения тепла, к активным областям приборов. Потребуется изменение архитектуры устройств. Так агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) для решения данной проблемы инициировало ряд работ. Эти исследования иллюстрируют необходимость использования в СВЧ-приборах наиболее эффективного теплопроводящего материала – алмаза.

На предприятии АО "НПП "Исток" им. Шокина" активно идет внедрение алмаза в выпускаемую продукцию. Авторами была исследована возможность изготовить корпуса для СВЧ-приборов непосредственно из поликристаллического алмаза. Такой корпус сам по себе является теплоотводом и позволяет снизить тепловое сопротивление прибор-внешний теплоотвод при этом снижается масса корпуса. Появляется возможность снимать большие мощности с того же прибора. Технология изготовления такого корпуса на всех этапах является групповой, что выгодно отличает эту технологию от традиционных и позволит получить в итоге относительно невысокую стоимость корпусов.

В основе метода изготовления цельноалмазных корпусов для СВЧ-приборов лежит выращивание CVD-алмаза на заранее подготовленной кремниевой пластине. Подготовка заключается в создании 3D рельефа, задающего необходимые геометрические параметры будущих алмазных корпусов. Для формирования 3D рельефа применимы механические и химические методы, лазерное фрезерование. После профилирования поверхности кремниевой

пластины проводится наращивание поликристаллического CVD-алмаза. Сформированный трёхмерный рельеф позволяет заранее задавать области пластины, где рост алмаза будет происходить, а где нет (эти области используются для разделения корпусов).



Рисунок 1.

Технология по своей сути является аддитивной, напоминает работу 3D-принтеров, но только из газовой фазы, при этом послойно, в требуемых местах, наносится материал и формируются готовые изделия. Построение происходит путем добавления материала, в отличие от традиционных технологий, где создание детали происходит за счёт удаления "лишнего" материала. В нашем случае из СВЧ-стимулированной плазмы метана и водорода поликристаллический CVD-алмаз наращивается в заранее определённых участках кремниевой пластины. Это даёт возможность формировать в процессе роста практически готовые изделия, с минимальной последующей доводкой до требуемых размеров. Рис. 1 иллюстрирует заготовки корпусов, полученных после роста и удаления с кремниевой пластины.

Далее лазером проводится перфорация необходимых отверстий для вывода контактов на нижнюю часть корпуса. Высокоадгезионная металлизация контактных площадок для разварки, пайки и места посадки прибора наносится методом магнетронного напыления в вакууме композиции слоёв кремния, титана, никеля и меди по разработанной в АО "НПП "Исток" им. Шокина" технологии.



Рисунок 2.

На рис. 2 представлены микрофотографии цельноалмазного корпуса, сформированного описанным методом. Он имеет 16 сквозных выводов, два из которых экранированы, и заземленную центральную часть для посадки одного или нескольких приборов. Размеры корпуса 5x5 мм, высота 200мкм, толщина дна 100 мкм.

Проведенная работа показала перспективность предложенного подхода к созданию корпусов для мощных СВЧ приборов.