

**Резюме проекта ПНИР, выполненного  
в рамках ФЦП  
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития  
научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»  
по этапу №5**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии 14.613.21.0021

Тема: «Разработка технологии синтеза крупногабаритных алмазных пластин из поликристаллического алмаза газофазного синтеза для создания оптических окон и диэлектрических опор в мощных лампах бегущей волны»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем и материалов (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

Период выполнения: с «22» октября 2014 г. по «31» декабря 2016 г.

Плановое финансирование проекта: 9.9 млн. руб.

Бюджетные средства - 9,900 млн. руб.,

Внебюджетные средства - 9,999 млн. руб.

Получатель субсидии: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва.

Иностранный партнер: Центральный Институт стекла и керамики Совета по научным и промышленным исследованиям (CSIR-CGCRI), г. Калькутта, Индия.

Ключевые слова: лампа бегущей волны, поликристаллический алмаз, диэлектрические опоры, СВЧ-плазма, полировка, лазерная резка, теплопроводность, тангенс угла потерь

## **1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

1.1. Разработка методов выращивания в СВЧ плазме, обработки и анализа оптических и теплофизических свойств поликристаллических алмазных пластин большого размера (50-100 мм) с высокой прозрачностью и теплопроводностью для использования в мощных источниках излучения миллиметрового диапазона длин волн, в том числе в ЛБВ.

## **2. Основные результаты проекта**

2.1. Разработан технологический процесс получения поликристаллических алмазных пластин высокого качества в СВЧ плазме (частота 2,45 ГГц) на подложках из кремния в смесях метан-водород. Получены образцы пластин оптического качества диаметром 75 мм (Рис. 1). С помощью разработанных лабораторных методик измерены температурные зависимости теплопроводности алмазных пластин лазерным флэш-методом (при комнатной температуре достигнута высокая теплопроводность, до 2050 Вт/мК) и тангенс угла потерь в резонаторе отражательного типа (получено минимальное значение  $\text{tg } \delta = 1,8 \cdot 10^{-4}$  на частоте 27 ГГц).

2.2. С использованием комплекса современных материаловедческих методик получены экспериментальные данные о структуре алмазных пластин (Рис. 1б), текстуре, примесях азота и водорода.

2.3. Разработаны методы механической шлифовки алмазных дисков диаметром до 75 мм до шероховатости поверхности менее 150 нм (Рис. 1в). Продемонстрирована возможность механической полировки пластин до шероховатости около 7 нм.

2.4. Исследовано поведение оптического поглощения поликристаллического алмаза оптического качества при отжиге в вакууме. Установлено, что высокая прозрачность материала сохраняется при нагреве до температуры 1300°C.

2.5. Лазерной резкой получены образцы алмазных опор длиной до 75 мм (рис. 1г).

2.6. Силами зарубежного Партнера выполнены следующие работы: разработан и оптимизирован технологический процесс получения прозрачных поликристаллических алмазных пластин в СВЧ плазме на частоте 915 МГц диаметром до 100 мм и теплопроводностью до 1900 Вт/мК. Исследован и оптимизирован процесс механо-химической полировки пластин диаметром до 75 мм, проведены их структурные исследования методами электронной микроскопии и спектроскопии КР. Изготовлены образцы алмазных опор длиной 75 мм и алмазных окон диаметром 50 мм, проведены их

испытания, подтверждено соответствие контрольных параметров условиям Технического задания. Результаты работ опубликованы в четырех статьях в международных журналах.

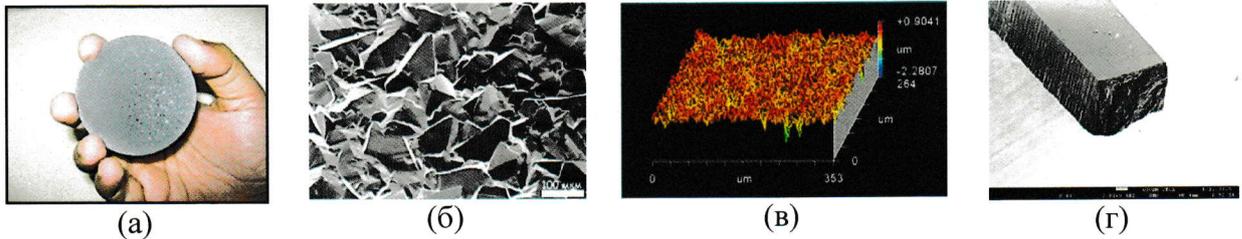


Рис. 1. Поликристаллическая алмазная пластина диаметром 75 мм (а); типичная микроструктура пластин (б); шлифованная поверхность, оптический профилометр (в) вырезанная лазером алмазная опора для ЛБВ (г).

2.7. Технологические решения в методах полировки поликристаллического алмаза механохимическим способом и ультразвуковой шлифовки обладают элементами новизны по отношению к традиционной чисто механической полировке и имеют преимущество в скорости обработки.

2.8. Полученные алмазные пластины по своим размерам (диаметр 100 мм), а также измеренные значения теплопроводности поликристаллического алмаза соответствуют мировому уровню технологии синтеза алмаза в СВЧ плазме.

### 3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках исследования, разработки

3.1. Поданы три заявки на патент РФ: (а) "Способ ультразвуковой шлифовки поверхности поликристаллических алмазов", заявка № 2015148614 от 12.11.2015 г.; (б) "Способ абразивной обработки изделий из поликристаллических алмазов", Заявка №2016146174 от 24.11.2016 г.; (в) "Способ сращивания изделий из поликристаллических алмазов в СВЧ плазме", Заявка № 2016146814 от 29.11.2016 г.

### 4. Назначение и область применения результатов проекта

4.1. Разработанные алмазные технологии могут быть использованы для создания мощных генераторов и усилителей волн миллиметрового диапазона, компактных ламп бегущей волны для космических и наземных систем связи, радаров высокого разрешения.

4.2. Благодаря сочетанию высоких оптических и теплофизических свойств обработанные крупногабаритные алмазные пластины найдут свое применение в качестве материала для окон мощных лазеров ИК диапазона, теплоотводов для приборов СВЧ электроники.

4.3. Прогнозируется, что в перспективе значительная часть ЛБВ будет производиться с алмазными компонентами взамен традиционных диэлектриков, таких как BeO.

### 5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Разрабатываемый метод получения поликристаллического алмаза высокотехнологичен, технология не материалоемка, обладает высоким уровнем автоматизации производства. Источники СВЧ излучения с алмазными компонентами будут иметь повышенную мощность и надежность. Имеются хорошие возможности импортозамещения при развитии производства CVD алмаза в России.

### 6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

6.1. Коммерциализация проектом не предусмотрена.

### 7. Наличие соисполнителей

7.1. Соисполнители работ по проекту не привлекались.

ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова  
Российской академии наук  
Директор

Руководитель проекта  
Зав. Лабораторией алмазных материалов

Щербаков И.А.

Ральченко В.Г.

