

# Быстродействующий болометрический приёмник, встроенный в матрицу искусственного HPHT-алмаза

А.Ю.Клоков, А.И.Шарков, Т.И.Галкина, Р.А.Хмельницкий, В.А.Дравин, А.А.Гиппиус

*Разработан и изготовлен быстродействующий болометрический приёмник, встроенный в пластину алмаза, выращенного под давлением методом градиентного роста. Проведено сравнение параметров созданной структуры с параметрами исследованных ранее структур, выполненных на основе CVD-алмаза и природного алмаза типа Па.*

**Ключевые слова:** искусственный HPHT-алмаз, болометр, лазерный отклик.

## 1. Введение

Алмаз, как природный, так и искусственный, является перспективным материалом для создания электронных устройств и элементов научной аппаратуры (подложки, радиационно-стойкие детекторы ионизирующих излучений, окна камер, криостатов, лазеров и гиротронов), функционирующих в экстремальных условиях. К таковым следует отнести, например, повышенные температуры, агрессивные среды (в том числе биологические) и потоки фотонов высокой плотности в диапазоне длин волн вплоть до рентгеновского, а также потоки частиц высоких энергий. Ранее нами сообщалось о разработке и изготовлении болометрического приёмника на основе заглабленного имплантированного и затем графитизированного слоя в природном алмазе типа Па [1], а также в искусственном поликристаллическом CVD-алмазе, осажденном из газовой фазы (CVD – chemical vapor deposited) [2]. Благодаря рекордно высокой, до  $24 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ , теплопроводности алмаза, болометры с резистивными элементами, заглабленными в алмаз, обладают повышенным быстродействием. Очевидно, что сенсор такого типа, встроенный в материал, минимизирует все недостатки датчиков, прикрепленных тем или иным способом к измеряемому объекту.

В настоящей работе продемонстрирована возможность создания резистивного болометра на основе заглабленного графитизированного слоя в искусственном HPHT-алмазе, выращенном под давлением методом градиентного роста (HPHT – high pressure, high temperature).

## 2. Искусственный алмаз и болометрическая структура

Исходные образцы алмаза были синтезированы в Технологическом институте сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (Троицк, Московская обл., Россия) путём роста на затравке методом температурного гра-

диента при высоком давлении и температуре в системе Fe–Al–C. Алюминий вводился в качестве геттера азота. Концентрация азота не превышала  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  [3].

Исследуемые алмазные образцы, в которых были сформированы болометрические структуры, имели вид полированных с двух сторон прозрачных прямоугольных пластин размером  $2.5 \times 2.5 \text{ мм}$  и толщиной  $275 - 540 \text{ мкм}$ . Рабочим элементом болометра является заглабленный графитизированный слой, полученный путём имплантации через маску в форме полоски длиной  $2 \text{ мм}$  и шириной  $70 \text{ мкм}$  ионов  $\text{C}^+$  с энергией  $350 \text{ кэВ}$  и дозой  $8 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ .

При использованных нами технологических условиях слой находился на глубине  $265 \text{ нм}$  и имел толщину  $220 \text{ нм}$  (рис.1). Контакты к заглабленному слою представляли собой графитовые прямоугольные столбики длиной  $700 \text{ мкм}$ , шириной  $100 - 300 \text{ мкм}$  и толщиной  $\sim 270 \text{ нм}$ , создаваемые имплантацией ионов  $\text{C}^+$  с энергиями в диапазоне  $350 - 20 \text{ кэВ}$ . Набор чувствительных элементов (болометров) длиной  $70$  и  $300 \text{ мкм}$  на основе заглабленного графитизированного слоя, встроенного в объём алмаза, был сформирован в результате отжига в вакууме при температуре  $1600^\circ\text{C}$  в течение  $1 \text{ ч}$ . К графитовым столбикам с помощью эпоксидного клея на основе серебра (EMS 12640) приклеивались золотые проводники диаметром  $30 \text{ мкм}$  для электрофизических измерений по четырёхзондовой схеме.

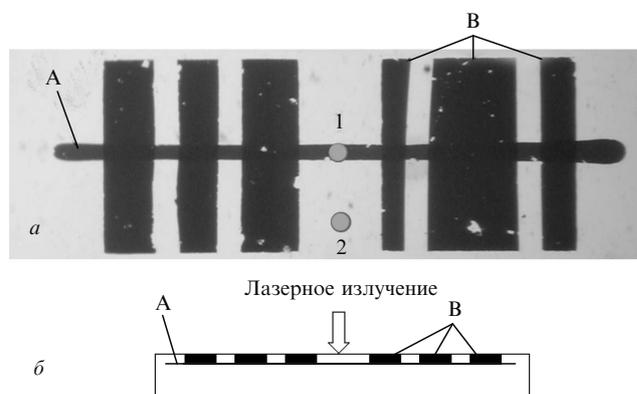


Рис.1. Фотография структуры (вид сверху) (а) и схема внутреннего строения болометра (б): А – заглабленный графитизированный слой; В – графитизированные контактные столбики.

А.Ю.Клоков, А.И.Шарков, Т.И.Галкина, Р.А.Хмельницкий, В.А.Дравин, А.А.Гиппиус. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: klokov@lebedev.ru

Поступила в редакцию 15 мая 2009 г.

Сопротивление болометров при комнатной температуре составляло 0.1–0.9 кОм (в зависимости от длины чувствительного элемента) при токах через болометр 10–3000 мкА, а удельное сопротивление слоя было равно  $4 \times 10^{-5}$  Ом·м. Температурная зависимость сопротивления исследуемых болометров в диапазоне температур 230–380 К является линейной с температурным коэффициентом сопротивления  $-1.5 \times 10^{-4}$  К<sup>-1</sup>, что совпадает со значениями, полученными ранее для болометров на основе природного алмаза и плёнок CVD-алмаза [1, 2].

### 3. Результаты и обсуждение

Был измерен отклик структуры на излучение импульсного азотного лазера ( $\lambda = 337$  нм,  $\tau \sim 8$  нс). Экспериментальная установка позволяла осуществлять сканирование лазерного пучка, сфокусированного в пятно размером 70–90 мкм, по передней поверхности образца. При каждом положении пучка регистрировалась временная зависимость отклика с разрешением  $\sim 1$  нс.

Наиболее интенсивный отклик (кривая 1 на рис.2) имеет место при попадании лазерного пучка непосредственно на чувствительный элемент (точка 1 на рис.1,а). В то же время в диапазоне 0–30 нс отклик существует (кривая 2 на рис.2) и при попадании пучка лазера в область между контактами, где заглаблённый графитизированный слой отсутствует (точка 2 на рис.1,а). Амплитуда этого отклика в 2–4 раза меньше амплитуды отклика собственно болометра, и, кроме того, его длительность существенно меньше.

Похожие результаты были получены и на природном алмазе типа Па, и на искусственном поликристаллическом алмазе, выращенном методом осаждения из газовой фазы в микроволновой плазме [4]. Как было нами установлено при исследовании CVD-алмаза [2], этот «быстрый» отклик вызван фотопроводимостью алмаза. Вычитая отклик, обусловленный фотопроводимостью, из регистрируемого суммарного отклика, можно получить составляющую, обусловленную только нагревом болометра (кривая 3 на рис.2).

На рис.3 показаны тепловые составляющие откликов болометров на основе заглаблённого графитизированного слоя в природном алмазе типа Па, искусственном поликристаллическом CVD-алмазе и искусственном НРНТ-алмазе. В работах [2, 5] приведено подробное описание модели, в рамках которой из анализа тепловых составляющих откликов оказывается возможным определить теплопроводность алмаза и графитизиро-

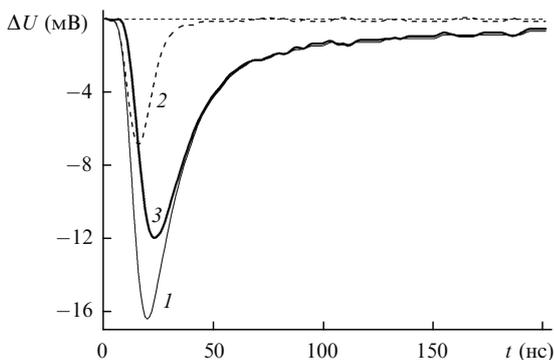


Рис.2. Отклики приёмника на импульсное лазерное облучение: суммарный отклик (1), отклик, обусловленный фотопроводимостью (2), и разностный отклик (3).

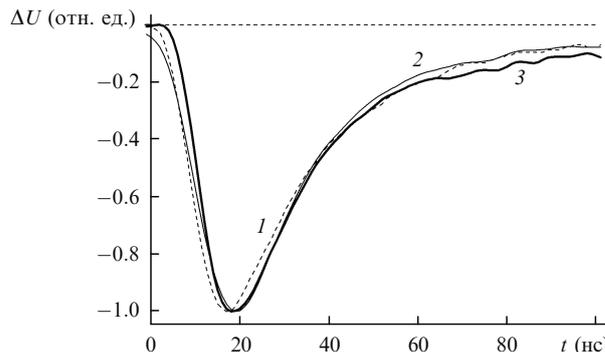


Рис.3. Отклики болометров, изготовленных в образцах природного алмаза типа Па (1), поликристаллического CVD-алмаза (2) и искусственного НРНТ-алмаза (3).

ванного слоя. Отметим, что отклики, регистрируемые в природном алмазе типа Па, в поликристаллическом CVD-алмазе и в исследованном в настоящей работе НРНТ-алмазе, практически полностью совпадают. Это позволяет говорить во-первых, о том, что теплопроводности алмазов, выращенных по данным технологиям ( $\sim 20$ – $24$  Вт см<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>), достигают теплопроводности природного алмаза типа Па, а во-вторых, о том, что тепловые характеристики встроенных в них графитизированных слоёв также близки.

### 4. Заключение

В настоящей работе продемонстрирована возможность создания резистивного болометра на основе заглаблённого графитизированного слоя в искусственном алмазе, выращенном под давлением методом градиентного роста. Исследование отклика на импульсное лазерное возбуждение дало возможность оценить быстродействие разработанной структуры, составившее  $\sim 25$  нс. Это позволяет сделать вывод о возможности использования встроенных графитизированных слоёв как в природном, так и в искусственных CVD- и НРНТ-алмазах в качестве быстродействующих (в наносекундном диапазоне) болометров для контроля температурного режима в элементах «алмазной» электроники и регистрации излучения с высоким временным разрешением [6].

Авторы благодарны М.С.Кузнецову за предоставленные образцы алмаза.

Работа была поддержана РФФИ (гранты № 07-02-12144-офи и 07-02-00575).

1. Клоков А.Ю., Шарков А.И., Галкина Т.И., Хмельницкий Р.А., Дравин В.А., Гиппиус А.А. *Письма в ЖТФ*, **27** (14), 21 (2001).
2. Галкина Т.И., Клоков А.Ю., Шарков А.И., Хмельницкий Р.А., Гиппиус А.А., Дравин В.А., Ральченко В.Г., Савельев А.В. *ФТТ*, **49** (4), 621 (2007).
3. Буга С.Г., Бланк В.Д., Терентьев С.А., Кузнецов М.С., Носухин С.А., Кульбачинский В.А., Кречетов А.В., Кытин В.Г., Кытин Г.А. *ЖЭТФ*, **131** (3), 1 (2007).
4. Ralchenko V., Galkina T., Klokov A., Sharkov A., Chernook S., Martovitsky V., in *Science and Technology of Semiconductor-on-Insulator Structure and Devices Operating in a Harsh Environment* (NATO Science Series, II: Mathematics, Physics and Chemistry; Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2005, p. 77).
5. Sharkov A.I., Galkina T.I., Klokov A.Yu., Khmelntskii R.A., Dravin V.A., Gippius A.A. *Vacuum*, **68** (3), 263 (2003).
6. Галкина Т.И., Клоков А.Ю., Шарков А.И., Гиппиус А.А., Хмельницкий Р.А., Дравин В.А., Ральченко В.Г. Патент РФ № 2341782; *Изобретения и полезные модели*, № 35, 952 (2008).