

06;12

Болометрический приемник, встроенный в объем алмаза

© 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, Москва
E-mail: shark@sci.lebedev.ru

Поступило в Редакцию 23 января 2001 г.

В электронных устройствах алмаз может использоваться как подложка и как активная среда, и поэтому весьма желательно получение информации о температурных перегревах в непосредственной близости от активных элементов, а также о режиме теплоотвода от них. Для этой цели разработан и изготовлен болометр, встроенный в алмазную пластину, который предназначен для измерения температурных перегревов при импульсном возбуждении алмаза или работе в импульсном режиме структур, нанесенных на алмаз, служащий подложкой. Болометр представляет собой графитизированный заглубленный слой, сформированный при имплантации ионов гелия и последующего отжига. Быстродействие болометра ~ 10 ns.

Известно, что перспектива использования алмаза в электронной технике определяется в значительной степени уникальной величиной теплопроводности алмаза, превышающей при комнатной температуре таковую для меди. Использование алмаза в качестве подложки для транзисторов, лазеров и т.п. улучшает пороговые характеристики в несколько раз, а величина термостойкости при использовании алмаза как лазерного материала увеличивается на порядки [1].

Перегревы при импульсной накачке приборов на основе алмаза или микро- и оптоэлектронных структур, изготовленных на алмазных подложках, зачастую измеряются термомпарами, имеющими инерционность порядка долей секунды. Кроме того, любые термометры укрепляются с помощью склейки, что вносит неизбежную ошибку в измерения. Очевидно, что встроенный в решетку материала детектор минимизирует все перечисленные недостатки.

Ранее нами был разработан и изготовлен генератор фононов для алмаза на основе фотовозбуждаемого заглубленного имплантирован-

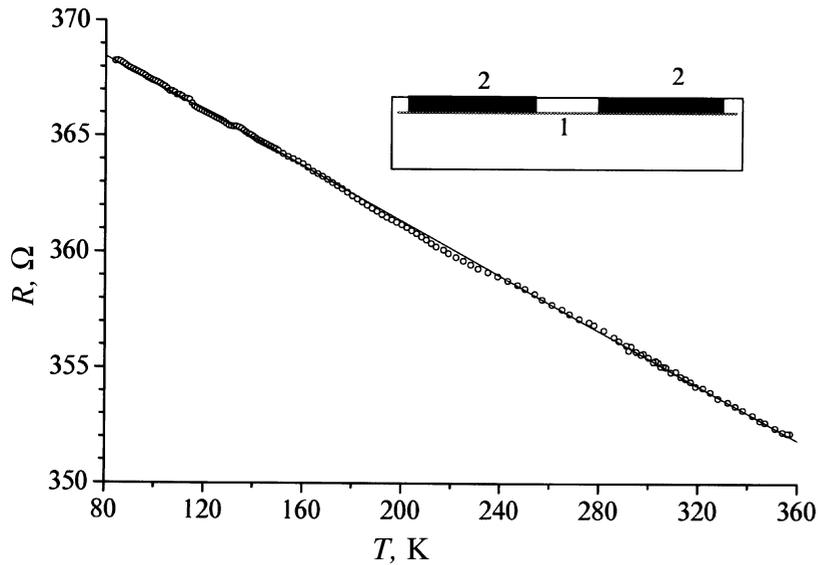


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления болометра (кружки) и ее линейная аппроксимация (линия). На вставке — схематическое изображение болометрической структуры: *1* — заглубленный графитизированный слой, *2* — контактные графитовые столбики.

ного слоя [3,4]. Было показано, что такой графитизированный слой имеет хорошее акустическое согласование с основной решеткой алмаза. Такой слой является проводящим ($\rho \sim 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$), поэтому он может служить и детектором фононов — болометром, причем его инерционность должна быть минимальна.

Болометр был изготовлен следующим образом. В монокристаллическую пластину природного алмаза типа Па была осуществлена имплантация ионов He^+ с энергией 350 keV, дозой $4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ с последующим отжигом при 1400°C в течение 1 h. В результате на глубине $\sim 700 \text{ nm}$ образовался графитизированный слой *1* (см. вставку на рис. 1) толщиной $\sim 150 \text{ nm}$. Контакты к заглубленному слою были реализованы с помощью графитовых столбиков *2*, создаваемых имплантацией с распределенной по энергии дозой ионов гелия [2].

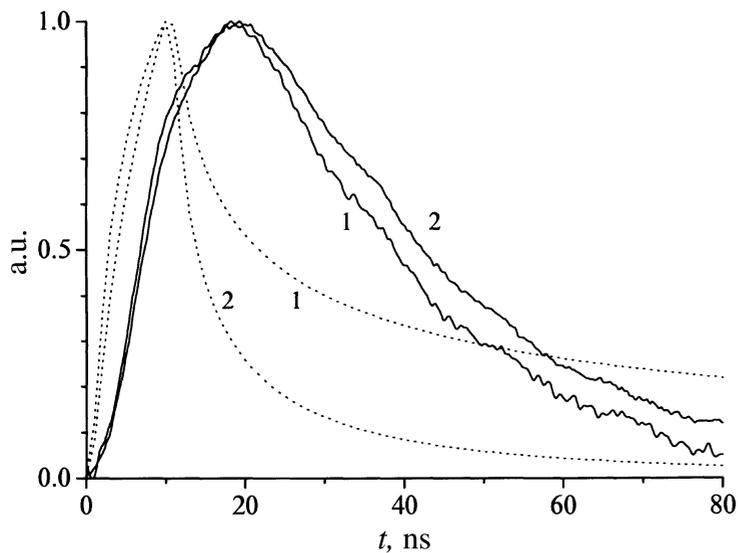


Рис. 2. Сплошные кривые — нормированные фотоотклики болометра на импульсное облучение азотным лазером ($\lambda = 337 \text{ nm}$, $\tau = 7.5 \text{ ns}$) для двух значений температуры $T = 300 \text{ K}$ (1) и 90 K (2). Пунктирные кривые — рассчитанные зависимости от времени среднего перегрева болометра (нормированные) для тех же значений температуры $T = 300 \text{ K}$ (1) и 90 K (2).

К этим столбикам с помощью эпоксидного клея на основе серебра (EMS 12640) приклеивались золотые проводники $\varnothing 30 \mu\text{m}$ для электрофизических измерений по четырехзондовой схеме. Созданный таким образом болометр имел размеры детектирующей области $70 \times 70 \mu\text{m}$.

На рис. 1 кружками показана температурная зависимость сопротивления исследуемого болометра в диапазоне температур $80 \div 360 \text{ K}$. Сопротивление болометра при комнатной температуре составило 356Ω при токе через болометр 2 mA . Из рис. 1 видно, что зависимость $R(T)$ является линейной в данном диапазоне температур с температурным коэффициентом сопротивления $-0.06 \Omega/\text{K}$.

Отклик болометра на импульсное облучение светом азотного лазера ЛГИ-21 ($\lambda = 337 \text{ nm}$, длительность импульса $\tau = 7.5 \text{ ns}$) усиливался широкополосным малошумящим предусилителем с высоким входным

сопротивлением (100 kOhm) и регистрировался системой на основе стробоскопического преобразователя напряжения В9-5. На рис. 2 сплошными линиями показаны нормированные экспериментальные фотоотклики данной структуры для двух значений температур $T = 300$ К (1) и 90 К (2). Видно, что длительность спада отклика по полувысоте составляет $\Delta\tau_{1/2} = 10 \div 12$ ns. Отметим, кроме того, что в диапазоне энергий лазерного импульса $0.1 \div 1$ μ J форма откликов была неизменной.

Для анализа полученного результата были проведены расчеты динамики распределения температуры в слоистой структуре алмаз/графитовый слой/алмаз путем решения системы, состоящей из трех трехмерных линейных уравнений теплопроводности, описывающих распределение температуры в каждом слое.

На рис. 2 пунктирными линиями показаны нормированные рассчитанные зависимости среднего перегрева встроенного слоя от времени для условий, соответствующих эксперименту. В связи с тем, что структура заглубленного графитизированного слоя недостаточно известна, в качестве его тепловых параметров использовались справочные данные для графита.

Видно, что рассчитанные зависимости заметно короче экспериментальных. Здесь, однако, надо заметить, что постоянная интегрирования входной цепи регистрирующей системы составляет $\tau \sim 10$ ns ($\tau = R_{BOL} \cdot C_{IN} = 360 \Omega \cdot 30$ pF). Таким образом, оцененное время спада отклика болометра ~ 12 ns является, в сущности, аппаратным, и его следует считать оценкой "сверху" быстродействия болометра.

Данная работа поддерживалась Российским фондом фундаментальных исследований, проект 98-02-16892.

Список литературы

- [1] Квасков В.Б. Природные алмазы России / Под ред. В.Б. Кваскова. М.: Полярон, 1997. С. 148–194.
- [2] Gippius A.A., Khmel'nitsky R.A., Dravin V.A. et al. // *Diamond and Related Materials*. 1999. V. 8. P. 1631–1634.
- [3] Галкина Т.И., Шарков А.И., Клоков А.Ю., Бонч-Осмоловский М.М., Хмельницкий Р.А., Дравин В.А., Гиппиус А.А. // *Письма в ЖЭТФ*. 1996. Т. 64. В. 4. С. 270–272.