Перестройка спектра THz стимулированного излучения одноосно деформированного Si:Bi при резонансном возбуждении

Жукавин Р.Х.¹, Павлов С.Г.², Pohl A.³, Абросимов Н.В.⁴, Redlich B.⁵, Hübers H.-W.^{2,3}, Шастин В.Н.¹

¹ ИФМ РАН, 607680, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, Россия

² Institute of Optical Sensor Systems, DLR, Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, Germany

³ Humboldt-Universität zu Berlin, 12489, Newtonstr. 15, Berlin, Germany

⁴ Leibniz-Institut für Kristallzüchtung, 12489, Max-Born-Str. 2, Berlin, Germany

⁵ Radboud University, FELIX Laboratory, 6525 E, Toernooiveld 7c, Nijmegen, The Netherlands

DOI 10.34077/Semicond2019-308

В работе рассматривается перестройка спектра терагерцового стимулированного излучения в кремнии, легированном донорами, при приложении одноосной деформации в условиях внутрицентральной накачки. Легирование висмутом проводилось методом выращивания с пьедестала [1]. Концентрация висмута в кристалле составляла около $3 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Образец был вырезан в форме прямоугольного параллелепипеда $7 \times 5 \times 2 \text{ мм}^3$ с длинной стороной вдоль направления [001] и "оптическим" качеством полировки граней для формирования высокодобротного резонатора. Эксперимент по наблюдению лазерного эффекта проводился с использованием излучения лазера на свободных электронах (ЛСЭ) FELIX (Radboud University, Nijmegen, The Netherlands). Излучение накачки подавалось в виде макроимпульсов длительностью 6 мкс, следующих с частотой 10 Гц. Каждый макроимпульс состоял из микроимпульсов длительностью порядка 10 пс и мощностью до 10 МВт, разделенных временным интервалом 1 нс. Специальная вставка, содержащая исследуемый образец и позволяющая приложение давления [2], погружалась в транспортный гелиевый сосуд Дьюара. Производилось измерение спектра возбуждения и спектра излучения при различных значениях приложенного давления. При отсутствии одноосной деформации стимулированное излучение в описываемом эксперименте наблюдалось при возбуждении донора вблизи состояния $2p_{\pm}$ и спектр излучения соответствует переходу $2p_{\pm} \rightarrow 1s(E)$ [3]. Одноосная деформация кристалла вдоль оси [001] приводит к расщеплению спектра возбуждения, появлению новых «зон» генерации и сдвигу спектра возбуждения в область низких частот. Параллельно с этим происходит и перестройка спектра излучения, причем часть линий можно приписать резонансному электронному рассеянию света на примесных переходах между компонентами $2p_{\pm}$ и $2p_0$ и компонентами рамановски активного состояния $1s(E)$ ($1s(B_1)$ и $1s(A_1^{up})$).

Работа поддержана в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований 19-02-00979 и совместного российско-германского проекта РФФИ-DFG (No. 389056032 и 18-502-12077-ННИО).

[1] H. Riemann, N. Abrosimov, N. Noetzel. ECS Transactions, **3**, 53 (2006).

[2] R. Kh. Zhukavin, V. V. Tsyplenkov, K. A. Kovalevsky et al., Appl. Phys. Lett. **90**, 051101 (2007).

[3] S. G. Pavlov, N. Deßmann, B. Redlich et al., Phys. Rev. X, **8**, 041003 (2018).

Рис.1. — Зависимость частоты выходного излучения на переходе между нижней компонентой $2p_0$ и $1s(A_1^{up})$ в зависимости от величины давления вдоль оси кристалла [001] при резонансном возбуждении $2p_0$. Данные эксперимента показаны точками, расчетная зависимость — сплошной линией.