

ТЕРАГЕРЦОВЫЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ: НОВЫЕ ДИЗАЙНЫ И МАТЕРИАЛЫ, ИНЖЕНЕРИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА И УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

***¹Р.А. Хабибуллин¹, Н.В. Шаврук¹, Д.С. Пономарев¹, Р.Р. Галиев¹, А.Ю. Павлов¹,
Д.В. Ушаков², А.А. Афоненко², А.А. Дубинов³, С.В. Морозов³,
О.Ю. Волков⁴, В.В. Павловский⁴***

¹Институт сверхвысококачественной полупроводниковой электроники им. В.Г. Мокерова РАН, Россия, 117105, Москва, Нагорный проезд, дом 7, e-mail: khabibullin@isvch.ru

²Белорусский государственный университет, Белоруссия, 220030, Минск, пр. Независимости, 4

³Институт физики микроструктур РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Академическая, 7

⁴Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Россия, 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11

TERAHERTZ QUANTUM CASCADE LASERS: NOVEL DESIGNS AND MATERIALS, LASER BEAM ENGINEERING AND SPECTRAL CHARACTERISTICS

***¹R.A. Khabibullin¹, N.V. Shchavruk¹, D.S. Ponomarev¹, R.R. Galiev¹, A.Yu. Pavlov¹,
D.V. Ushakov², A.A. Afonenko², A.A. Dubinov³, S.V. Morozov³,
O.Yu. Volkov⁴, V.V. Pavlovskiy⁴***

¹V.G. Mokerov Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of RAS Russia, 123456, Moscow, Nagornij proezd 7, e-mail: khabibullin@isvch.ru

²Belarusian State University, Belarus, 220030, Minsk, Nezavisimosti prospect, 4.

³Institute for physics of microstructures of RAS, Russia, 603950, Nizhny Novgorod

⁴Institute of radio-engineering and electronics of RAS, Russia, 125009, Moscow, Mokhovaya str., 11.

We have designed and fabricated 2.3 THz QCL with active module based on 4 QWs GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As. The light-current-voltage characteristics, emission spectra and far-field distribution of the emission intensity of the fabricated THz QCL are investigated. To evaluate the potential of the Hg_{1-x}Cd_xTe structures as a gain medium for QCL operating at frequencies above 6 THz, we use the balance equation method for simulating the laser characteristics.

В работе были изготовлены и исследованы ТГц ККЛ на основе каскада, состоящего из четырех квантовых ям (КЯ) GaAs/AlGaAs с резонансно-фононным дизайном. Максимум усиления предложенной структуры соответствует длине волны $\lambda=130$ мкм (2.3 ТГц) [1]. На основе данных структур были изготовлены гребневые мезаполоски с двойным металлическим волноводом Au-Au шириной 100 мкм и длиной 2 мм, которые в дальнейшем были смонтированы на медном теплоотводе и разварены золотой проволокой.

В измеренном спектре излучения 4КЯ ТГц ККЛ (см. рис. 1) присутствуют спектральные линии в диапазоне от 2.14 ТГц до 2.38 ТГц, что

соответствует рассчитанному спектру усиления структуры. Видно, что наряду с эквидистантными линиями с частотным интервалом около 19 ГГц на спектре присутствуют дополнительные спектральные линии, связанные с генерацией поперечных мод более высокого порядка. Измерение распределения интенсивности лазерного излучения в дальнем поле без линзы имеет множественные максимумы на диаграмме. При использовании сапфировой линзы удалось сформировать гауссов-пучок с одним максимумом в дальнем поле (см. рис. 2).

Предложен новый дизайн ККЛ на основе 2КЯ HgCdTe каскада с частотой генерации около 8.3 ТГц (см. рис. 3). Расчёт зависимости усиления и потерь от температуры (см. рис. 4) демонстрирует, что предложенный 2КЯ HgCdTe дизайн имеет высокие рабочие температуры ($T_{max}=225$ К) [2].

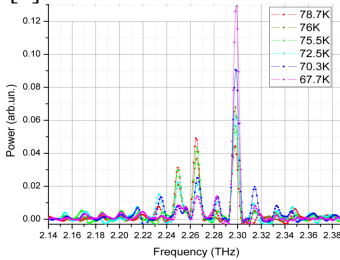


Рис. 1. Спектры излучения 4КЯ ТГц ККЛ (2 мм) при температуре от 67.7 до 78.7 ГТК

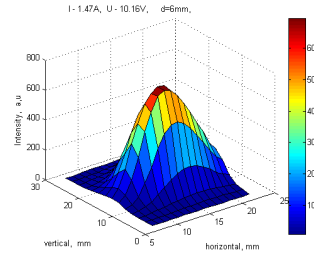


Рис. 2. Измеренная диаграмма направленности излучения 4КЯ ТГц ККЛ с линзой в дальнем поле

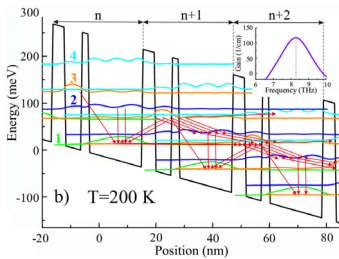


Рис. 3. Зонная диаграмма предложенного 2КЯ HgCdTe дизайна ККЛ с частотой генерации около 8.3 ТГц

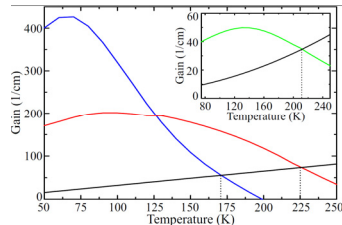


Рис. 4. Температурные зависимости усиления ТГц ККЛ: 1) синяя кривая – 3КЯ HgCdTe ККЛ; 2) красная кривая - 2КЯ HgCdTe ККЛ; 3) зеленая кривая - 2КЯ GaAs/AlGaAs ККЛ

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФН № 18-19-00493 и РФФИ № 20-02-00363.

Литература

1. D.V. Ushakov, R.A. Khabibullin et al., Quantum Electronics, 49, 913 (2019).
2. D.V. Ushakov, R.A. Khabibullin et al., Optics Express, 28, 25371 (2020).