

**СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ТГц КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ  
НА ОСНОВЕ РЕЗОНАНСНО-ФОНОННОГО ДИЗАЙНА**

***\*Р.А. Хабибуллин<sup>1</sup>, Н.В. Шаврук<sup>1</sup>, Д.С. Пономарев<sup>1</sup>, Д.В. Ушаков<sup>2</sup>, А.А. Афоненко<sup>2</sup>,  
О.Ю. Волков<sup>3</sup>, В.В. Павловский<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники им. В.Г. Мокерова РАН,  
Россия, 117105, г. Москва, Нагорный проезд, дом 7, e-mail: [khabibullin@isvch.ru](mailto:khabibullin@isvch.ru)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет,

Белоруссия, 220030, г. Минск, пр. Независимости, дом 4

<sup>3</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Россия, 125009, г. Москва, ул. Моховая, дом 11

**EMISSION SPECTRA OF THE THZ QUANTUM CASCADE LASERS BASED  
ON RESONANCE-PHONON DESIGN**

***\*R.A. Khabibullin<sup>1</sup>, N.V. Shchavruk<sup>1</sup>, D.S. Ponomarev<sup>1</sup>, D.V. Ushakov<sup>2</sup>, A.A. Afonenko<sup>2</sup>,  
O.Yu. Volkov<sup>3</sup>, V.V. Pavlovskiy<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>V.G. Mokerov Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of RAS  
Russia, 123456, Moscow, Nagornij proezd 7, e-mail: [khabibullin@isvch.ru](mailto:khabibullin@isvch.ru)

<sup>2</sup>Belarusian State University, Belarus, 220030, Minsk, Nezavisimosti prospect, 4.

<sup>3</sup>V.G. Mokerov Institute of radio-engineering and electronics of RAS,  
Russia, 125009, Moscow, Mokhovaya str., 11

We have designed and fabricated terahertz quantum cascade lasers (THz QCLs) based on GaAs/Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As three and four-quantum well active module with resonant-phonon depopulation scheme. The emission spectra of the fabricated THz QCLs was investigated.

В работе были изготовлены и исследованы ТГц ККЛ на основе каскада, состоящего из трех- и четырех квантовых ям (КЯ) GaAs/AlGaAs с резонансно-фононным дизайном. Максимумы усиления предложенных структур соответствуют 94 мкм (3.3 ТГц) и 130 мкм (2.3 ТГц) для каскадов на основе 3- и 4-КЯ, соответственно. На основе данных структур были изготовлены гребневые мезаполоски с двойным металлическим волноводом Au-Au шириной 100 мкм и длиной 1 и 2 мм, которые в дальнейшем были смонтированы на медном теплоотводе и разварены золотой проволокой.

В измеренном спектре излучения 3КЯ ТГц ККЛ (см. рис. 1) присутствуют три эквидистантные спектральные линии около 3.3 ТГц [1], что соответствует рассчитанному спектру усиления структуры. Если рассматривать одну моду, которая существует в наибольшем диапазоне токов, то максимальная перестройка частоты моды при измерении тока составила 3.7 ТГц (см. рис. 2), что, скорее всего, связано с разогревом активной области лазера и температурной зависимостью эффективного показателя преломления.

На рис. 3 представлены вольт-амперная характеристика и зависимость интенсивности интегрального излучения от тока для изготовленного 4КЯ ТГц ККЛ с длиной резонатора Фабри-Перо около 2 мм. На рис. 4 представлен спектр излучения данного лазера, на котором присутствует 7 продольные мод Фабри-Перо (ТМ<sub>0</sub>) с интервалом около 16 ГГц и три дополнительные моды (ТМ<sub>1</sub>), отстоящие от основных на 5.5 ГГц.

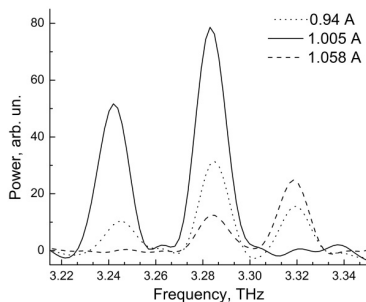


Рис. 1. Спектр излучения 3КЯ ТГц ККЛ (1 мм) при различных значениях тока

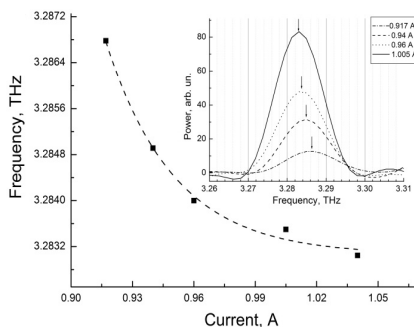


Рис. 2. Зависимость частоты излучения 3КЯ ТГц ККЛ от тока

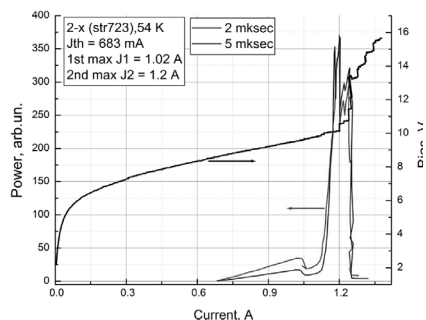


Рис. 3. ВАХ и зависимость интенсивности интегрального излучения от тока для 4КЯ ТГц ККЛ с длиной лазерного полоса около 2 мм, измеренные при 54 К

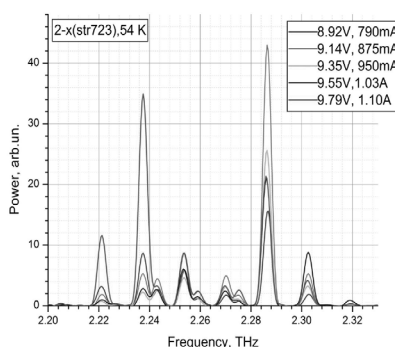


Рис. 4. Спектр излучения 4КЯ ТГц ККЛ (2 мм) при различных значениях тока

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РНФ № 18-19-00493, РФФИ № 18-52-00011\_Бел и гранта БРФФИ № Ф18Р-107.

#### Литература

1. О.Ю. Волков и др., Радиотехника и электроника, **63**(9), 981 (2018).