

Гетероструктура квантово-каскадного детектора частотного диапазона 2.5 ТГц

© А.В. Бабичев¹, Е.С. Колодезный¹, А.Г. Гладышев¹, Д.В. Денисов², А. Jollivet³, P. Quach³, Л.Я. Карачинский^{1,4,5}, В.Н. Неведомский⁴, И.И. Новиков^{1,5}, М. Tchernycheva³, F.H. Julien³, А.Ю. Егоров⁵

¹ Национальный исследовательский университет ИТМО,
197101 Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В.И. Ульянова (Ленина),
197022 Санкт-Петербург, Россия

³ Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N), UMR 9001 CNRS, Universite Paris-Saclay,
91120 Palaiseau, France

⁴ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

⁵ ООО „Коннектор Оптик“,
194292 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: a.babichev@mail.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 15 октября 2021 г.

В окончательной редакции 29 октября 2021 г.

Принята к публикации 29 октября 2021 г.

Предложена конструкция и реализована методом молекулярно-пучковой эпитаксии гетероструктура квантово-каскадного детектора частотного диапазона 2.5 ТГц. Для оптимизации толщин слоев периодов гетероструктуры использовался численный метод итерационного решения уравнения Шредингера–Пуассона в $k \cdot p$ формализме. Выращенная гетероструктура квантово-каскадного детектора показала высокое структурное совершенство, подтвержденное малыми значениями средней ширины на половине высоты пиков-спутеллитов высоких порядков на рентгенодифракционных кривых качания, которые составили $(8.3 \pm 0.5)''$. Анализ темнопольных изображений, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии, показал, что суммарная толщина слоев в периоде каскада составляет 137.3 ± 6.9 нм, что соответствует расчетной толщине слоев периода каскада гетероструктуры квантово-каскадного детектора.

Ключевые слова: сверхрешетки, квантово-каскадный детектор, эпитаксия, арсенид галлия.

DOI: 10.21883/FTP.2022.03.52124.9750

1. Введение

Терагерцовая (ТГц) спектроскопия может обеспечить повышенную чувствительность в сравнении со спектроскопией ближней инфракрасной области спектра ввиду наличия колебательно-вращательных линий поглощения в терагерцовой области спектра ряда молекул. Сфера применения систем ТГц спектроскопии включает контроль технологических процессов на производствах [1], анализ состояния окружающей среды [2], а также оценку состояния здоровья человека [3,4]. В силу больших геометрических размеров и высокой стоимости коммерческие системы ТГц спектроскопии с временным разрешением (THz TDS) [5] не получили широкого распространения, кроме того, их эффективность в частотном диапазоне выше 2 ТГц весьма ограничена.

Одним из перспективных подходов по созданию компактных систем ТГц спектроскопии считается развитие двойной гребенчатой спектроскопии (DCS) на основе квантово-каскадных лазеров (ККЛ) [1]. К настоящему моменту продемонстрированы ТГц ККЛ со значительной выходной оптической мощностью, работающие при температуре до 250 К [6], обладающие широким спектром усиления, что обеспечивает существенную пере-

стройку длины волны излучения, что требуется для ТГц гребенчатой спектроскопии.

Несмотря на наличие быстродействующих детекторов ближнего [7] и среднего [8] инфракрасного (ИК) диапазонов, отсутствие быстродействующих детекторов дальнего ИК (ТГц диапазона), способных обеспечить интеграцию на чипе, существенно ограничивает развитие компактных систем двойной гребенчатой спектроскопии.

Полупроводниковые квантово-размерные ТГц детекторы на основе межподзонных переходов в силу малых времен жизни носителей заряда перспективны для реализации быстродействующих детекторов. ИК фотодетекторы на квантовых ямах (QWIP) в ТГц частотном диапазоне показывают высокую детектирующую способность, сопоставимую с чувствительностью болометров [9]. Однако существуют физические ограничения на работу ТГц QWIP при комнатной температуре. Более того, быстродействующие QWIP (частота отсечки на уровне 70 ГГц) были продемонстрированы на длинах волн ~ 10 мкм [8]. В то же время быстродействие ТГц QWIP не превышает 4.3 ГГц [10,11]. Результаты по использованию гетероструктур ТГц ККЛ в качестве фотодетекторов представлены в работе [12], где достигнуто значение уровня мощности шума (NEP) на уровне 1.5 пВт/Гц^{0.5}.

Более перспективным видится развитие области фотовольтаических ТГц квантово-каскадных детекторов (ККД). В сравнении с QWIP структурами, работающими при смещении, ККД среднего инфракрасного (ИК) диапазона демонстрируют более низкие шумы (за счет отсутствия шума темнового тока, свойственного структурам QWIP) и возможность работы при повышенных температурах. В то же время в силу сложности численного моделирования зонной структуры ТГц ККД, транспорта носителей заряда, лишь одной научной группе удалось реализовать на практике ТГц ККД [13]. Авторами была продемонстрирована детектирующая способность $\sim 5 \cdot 10^7 \text{ см} \cdot (\text{Гц}/\text{Вт})^{0.5}$ на частоте 3.5 ТГц и возможность работы при температуре 50 К. В 2020 году представлены результаты по моделированию ТГц ККД с использованием байесовского алгоритма оптимизации [14], метода Монте-Карло в ансамбле совместно с применением генетического алгоритма оптимизации [15]. Данные результаты моделирования получили свое развитие в области ККД средней ИК области спектра [16].

В настоящей работе представлены первые результаты по моделированию и выращиванию методом молекулярно-пучковой эпитаксии гетероструктур квантово-каскадных детекторов частотного диапазона 2.5 ТГц.

2. Экспериментальные образцы

Конструкция периода каскада активной области ККД частотного диапазона 2.5 ТГц была рассчитана с использованием коммерчески доступного программного пакета NextNano[®] [17] методом итерационного решения уравнения Шредингера–Пуассона в $k \cdot p$ формализме для температуры 4 К (см. рис. 1, *a*). Наряду с профилем зоны проводимости представлены квадраты волновых функций в слоях расчетной конструкции периода каскада. Расчет конструкции производился с целью реализации диагонального межподзонного поглощения в слое „активной“ квантовой ямы (КЯ) (обозначение на рис. 1, *a* „active QW“). Энергия кванта между состояниями 1–5 составила 10.2 мэВ, между состояниями 1–6 — 11.7 мэВ, между состояниями 1–7 — 15.3 мэВ.

После переходов с состояния 1 на состояния 5–7 электроны туннелируют в область экстрактора (область выброса носителей заряда). Проведена оптимизация параметров слоев с целью увеличения пространственного перекрытия огибающей волновых функций КЯ с областью выброса носителей заряда (состояниями 2–4), областью экстрактора (обозначение на рис. 1, *a* „extractor“). Легированными являются КЯ только в области экстрактора, что, с одной стороны, обеспечивает увеличение вероятности релаксации (выброса) электронов в область экстрактора (за счет электрон-примесного рассеяния), а с другой — одновременно уменьшает вероятность межподзонной релаксации носителей заряда в „активной“ КЯ. Как следствие, это приводит к увеличению эффективности переноса носителей заряда между

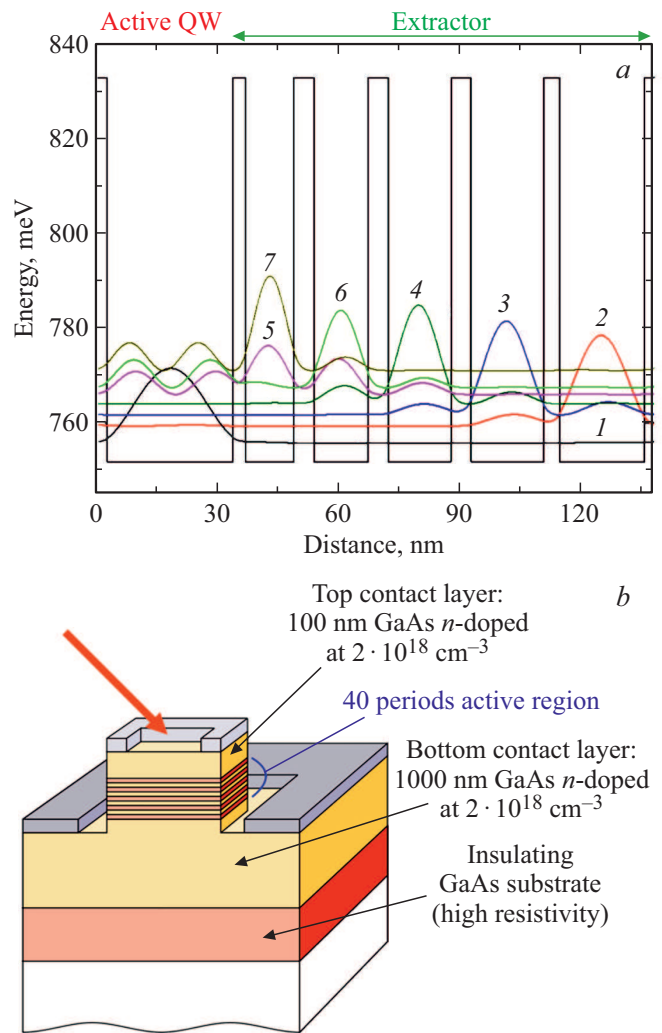


Рис. 1. *a* — результаты численного расчета квадрата волновых функций в периоде каскада ККД частотного диапазона 2.5 ТГц; *b* — схематическое изображение конструкции кристалла ККД. Стрелкой отмечено направление излучения, падающего под углом Брюстера. (Цветной вариант рисунка представлен в электронной версии статьи).

периодами каскада. Уровень легирования КЯ подбирался таким образом, чтобы, с одной стороны, увеличить вероятность межподзонного поглощения в „активной“ КЯ, а с другой — исключить заполнение последнего состояния в области экстрактора. Детальное описание слоев гетероструктуры ККД представлено в табл. 1. Слои активной области и области экстрактора, выделенные жирным шрифтом, формируют один период каскада. Количество периодов каскада — 40. Суммарная толщина слоев в периоде каскада — 1378.5 Å. Подчеркнутые слои GaAs (в области экстрактора) легированы кремнием (объемное легирование).

Гетероструктура ККД была выращена методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). В качестве подложки использовались пластины GaAs с ориентацией $(001) \pm 0.5^\circ$, тип проводимости — полупроводник (для

Таблица 1. Описание слоев гетероструктуры ККД

Материал	Уровень легирования, см^{-3}	Толщина, Å
GaAs	$2 \cdot 10^{18}$	1000
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		46
<u>GaAs</u>	$1 \cdot 10^{16}$	210
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		40
<u>GaAs</u>	$1 \cdot 10^{16}$	180
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		50
<u>GaAs</u>	$1 \cdot 10^{16}$	155
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		50
<u>GaAs</u>	$1 \cdot 10^{16}$	135
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		50
GaAs		120
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		30
GaAs		312.5
$\text{Al}_{0.10}\text{GaAs}$		46
GaAs	$2 \cdot 10^{18}$	10000
Подложка GaAs		350 мкм

уменьшения потерь на свободных носителях заряда). Слой GaAs толщиной 1 мкм, легированный кремнием до уровня $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, выполнял функцию нижнего контактного слоя. Активная область включала 40 периодов каскада на основе гетеропары твердых растворов GaAs/ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$. Суммарная толщина слоев в одном периоде каскада составила 137.9 нм. Верхний контактный слой сформирован на основе GaAs с уровнем легирования $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Схематическое изображение конструкции кристалла ККД представлено на рис. 1, b. Выбрана конструкция, в которой нижний контакт осуществляется к сильно легированному слою GaAs, а не к легированной подложке, с целью уменьшения оптических потерь, связанных с использованием сильно легированной подложки. Верхний контакт предполагается формировать в виде рамки по периметру мезы для засветки образца под углом Брюстера.

Для оценки структурного качества гетероструктуры ККД использовались методы рентгенодифракционного анализа и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). ПЭМ-исследования проводились на просвечивающем электронном микроскопе JEM2100F (Jeol, Япония) с ускоряющим напряжением 200 кВ. Использовалась стандартная методика подготовки образцов в геометрии поперечного сечения, которая представлена, например, в работах [18,19].

Измерения рентгенодифракционных кривых качания были проведены вблизи симметричного рефлекса (004) GaAs на дифрактометре PANalytical X'PertPro в параллельной геометрии пучка рентгеновского излучения [18]. Источником рентгеновского излучения мощностью 6 кВт является трубка с вращающимся медным анодом ($\lambda = 0.15406 \text{ нм}$). Полуширина первичного пучка не превышала $12''$, что обеспечивалось использованием четырехкратного Ge (220) прорезного кристалла монохроматора.

3. Результаты и обсуждение

Предварительные калибровки скоростей роста GaAs и AlAs, а также состава слоя $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ были проведены на основе данных, полученных методом рентгеновской дифракции на тестовой гетероструктуре с объемным слоем AlGaAs. В результате были определены скорости роста GaAs и AlAs как 2.08 и 0.23 $\text{Å}/\text{с}$ соответственно. Для точной калибровки толщин тонких слоев в периодах каскада ККД непосредственно перед эпитаксиальным ростом гетероструктуры ККД проведен рост тестовой гетероструктуры, идентичной гетероструктуре ККД, но с уменьшенным до 10 числом периодов каскада. Произведено измерение рентгенодифракционной кривой качания $\Omega-2\theta$ тестовой гетероструктуры. На кривой наблюдается наличие пиков-спутников высших порядков, характерных для периодической структуры периодов каскада. Анализ положения пиков-спутников показал, что средняя толщина периода каскада составила $139.0 \pm 6 \text{ нм}$, что свидетельствует об отклонении от ростовой спецификации. По этой причине для коррекции толщины периода каскада при эпитаксиальном росте гетероструктуры ККД в ростовой программе скорость по галлию в слоях свехрешетки была увеличена с 2.08 до 2.11 $\text{Å}/\text{с}$. Уровень легирования был откалиброван методом вольт-емкостного профилирования тестовых гетероструктур с толстыми слоями GaAs:Si.

Рост гетероструктуры ККД проводился при температуре подложки 575°C и соотношении потоков материалов III группы и As 1:10. Температура подложки контролировалась по показаниям пирометра, откалиброванного на температуре начала сгона окисла с подложки GaAs, принятой за 590°C . Скорость вращения подложкодержателя составляла 20 оборотов в минуту, что при выбранных скоростях роста обеспечивало более

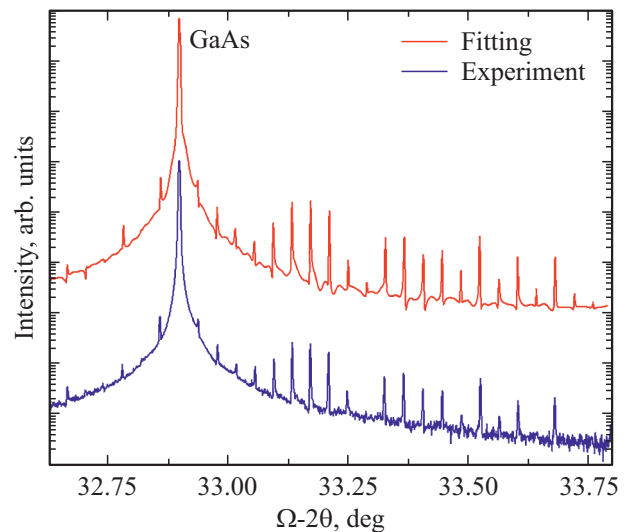


Рис. 2. Рентгенодифракционная кривая качания гетероструктуры ККД, измеренная в центре пластины (нижняя кривая), наряду с результатами численного моделирования (верхняя кривая).

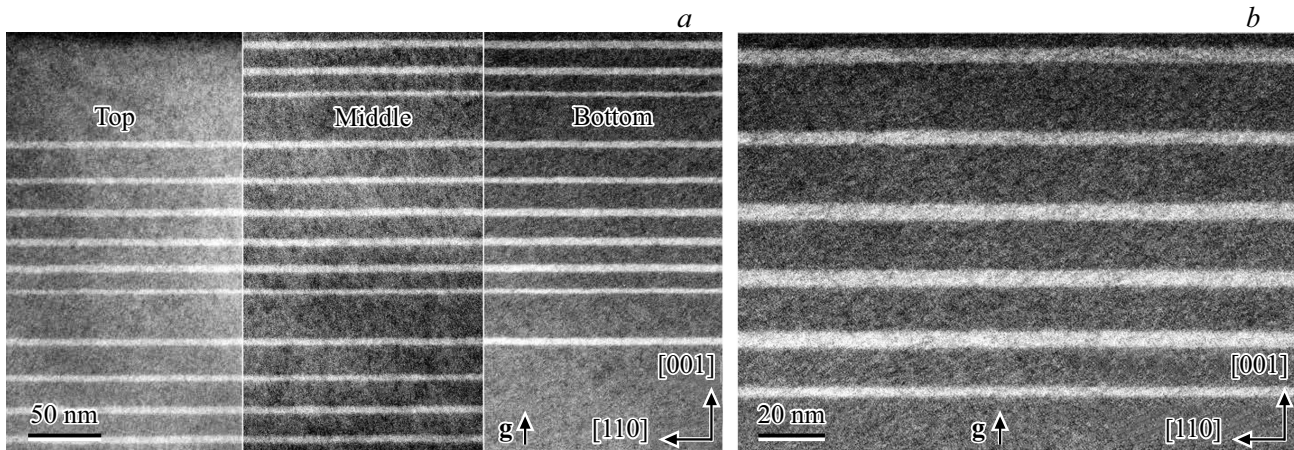


Рис. 3. *a* — темнопольные изображения поперечного сечения ($1\bar{1}0$) образца в двулучевых условиях с действующим вектором дифракции $g = (002)$ вблизи поверхности гетероструктуры (обозначение „top“), в центральной части активной области (обозначение „middle“) и вблизи подложки (обозначение „bottom“); *b* — темнопольное изображение поперечного сечения образца с действующим вектором дифракции $g = (002)$ в центральной части активной области.

5 оборотов за время роста самого тонкого слоя периода каскада. Тем самым обеспечивалась лучшая однородность толщин слоев по площади подложки.

На рис. 2 представлена рентгенодифракционная кривая качания $\Omega-2\theta$ гетероструктуры ККД, измеренная в центре пластины (нижняя кривая) наряду с результатами численного моделирования. На кривой качания наблюдается полное совпадение нулевого пика сателлитной структуры с положением пика подложки GaAs (обозначение „GaAs“). Данный факт свидетельствует о точном соответствии химического состава эпитаксиальных слоев заданным в ростовой спецификации. На кривой качания наблюдается наличие пиков-сателлитов высших порядков (вплоть до 21 порядка). Анализ кривой дает достаточно малое значение средней ширины на половине высоты (FWHM) пиков-сателлитов (8.3 ± 0.5)'' по сравнению с ранее представленными результатами для подобных гетероструктур ТГЦ ККЛ на подложках GaAs ($13-19$ '') [20–23], что свидетельствует о высокой резкости границ, постоянстве толщин периодов каскада и слоев в них, а также о малой шероховатости гетероинтерфейсов в исследуемой гетероструктуре [23]. На основании положения 10 пиков-сателлитов была проведена оценка средней толщины периода каскада, которая составила 135.0 ± 2.0 нм, что соотносится с суммарной толщиной слоев периода каскада, заданной в ростовой спецификации (137.85 нм). Численная аппроксимация положения всех пиков-сателлитов кривой качания дает значение средней толщины периода каскада 135.1 нм. Проведено измерение рентгенодифракционных кривых на удалении в 25 мм от центра подложки. Согласно результатам моделирования, отклонение средней толщины периода каскада не превышает 1% в сравнении с центром подложки, что свидетельствует о высокой однородности слоев по поверхности гетероструктуры. Таким образом, данные рентгенодифракционного анали-

за свидетельствуют о высоком структурном совершенстве созданной гетероструктуры ККД и соответствии толщин и составов слоев в периодах каскада заданным в ростовой спецификации.

Анализ результатов исследования темнопольного ПЭМ-изображения поперечного сечения ($1\bar{1}0$) образца с $g = (002)$ вблизи подложки методом просвечивающей электронной микроскопии показал отсутствие границы между подложкой и эпитаксиальными слоями. На рис. 3, *a* приведено ПЭМ-изображение периодов каскада для трех характерных областей гетероструктуры ККД: вблизи поверхности гетероструктуры, в центре активной области и вблизи подложки. В пределах периода различий в толщине слоев нет и все слои периода каскада имеют планарные гетерограницы, что представлено на увеличенном изображении (см. рис. 3, *b*). Толщина однотипных слоев в периодах каскада не меняется в

Таблица 2. Результаты определения толщин слоев в периоде каскада методом ПЭМ. Приблизительная погрешность, согласно методике измерений, составляет $\pm 5\%$

Материал	Толщина по дизайну, Å	Измеренная ПЭМ толщина, Å
GaAs	210	210
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	40	42
GaAs	180	180
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	50	50.2
GaAs	155	154
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	50	50.2
GaAs	135	133
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	50	50.2
GaAs	120	117
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	30	29.7
GaAs	312.5	312
Al _{0.1} Ga _{0.9} As	46	45.1

процессе роста, протяженных дефектов не обнаружено. Толщины слоев в периоде каскада, полученные на основе анализа ПЭМ-изображений, представлены в табл. 2. Суммарная толщина слоев в периоде каскада составила (137.3 ± 6.9) нм.

4. Заключение

В результате численного моделирования гетероструктуры квантово-каскадного детектора частотного диапазона 2.5 ТГц методом итерационного решения уравнения Шредингера–Пуассона в $k \cdot p$ формализме определены оптимальные толщины слоев активной области гетероструктуры (конструкция гетероструктуры квантово-каскадного детектора). Проведена отработка эпитаксиальных условий выращивания методом молекулярно-пучковой эпитаксии гетероструктур ККД в соответствии с предложенной конструкцией ККД. Результаты рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии подтверждают высокое структурное совершенство изготовленной гетероструктуры и соответствие параметрам расчетной конструкции ККД.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10285).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] L. Consolino, S. Bartalini, H. Beere, D. Ritchie, M. Vitiello, P. De Natale. *Sensors*, **13** (3), 3331 (2013).
- [2] G.-R. Kim, T.-I. Jeon, D. Grischkowsky. *Opt. Express*, **25** (21), 25422 (2017).
- [3] M. Locatelli, M. Ravaro, S. Bartalini, L. Consolino, M.S. Vitiello, R. Cicchi, F. Pavone, P. De Natale. *Sci. Rep.*, **5** (1), 13566 (2015).
- [4] N. Rothbart, O. Holz, R. Koczulla, K. Schmalz, H.-W. Hübers. *Sensors*, **19** (12), 2719 (2019).
- [5] P.U. Jepsen, D.G. Cooke, M. Koch. *Laser Photon. Rev.*, **5** (1), 124 (2010).
- [6] A. Khalatpour, A.K. Paulsen, C. Deimert, Z.R. Wasilewski, Q. Hu. *Nature Photonics*, **15** (1), 16 (2020).
- [7] A. Vardi, N. Kheirodin, L. Nevou, H. Machhadani, L. Vivien, P. Crozat, M. Tchernycheva, R. Colombelli, F.H. Julien, F. Guillot, C. Bougerol, E. Monroy, S. Schacham, G. Bahir. *Appl. Phys. Lett.*, **93** (19), 193509 (2008).
- [8] M. Hakl, Q. Lin, S. Lepillet, M. Billet, J.-F. Lampin, S. Pirotta, R. Colombelli, W. Wan, J.C. Cao, H. Li, E. Peytavit, S. Barbieri. *ACS Photonics*, **8** (2), 464 (2021).
- [9] D. Palaferri, Y. Todorov, Y.N. Chen, J. Madeo, A. Vasanelli, L.H. Li, A.G. Davies, E.H. Linfield, C. Sirtori. *Appl. Phys. Lett.*, **106** (16), 161102 (2015).
- [10] H. Li, W.-J. Wan, Z.-Y. Tan, Z.-L. Fu, H.-X. Wang, T. Zhou, Z.-P. Li, C. Wang, X.-G. Guo, J.-C. Cao. *Sci. Rep.*, **7** (1), 3452 (2017).
- [11] B. Paulillo, S. Pirotta, H. Nong, P. Crozat, S. Guilet, G. Xu, S. Dhillon, L.H. Li, A.G. Davies, E.H. Linfield, R. Colombelli. *Optica*, **4** (12), 1451 (2017).
- [12] P. Micheletti, J. Faist, T. Olariu, U. Senica, M. Beck, G. Scalari. *APL Phot. Optica*, **6**, 106102 (2021).
- [13] M. Graf, G. Scalari, D. Hofstetter, J. Faist, H. Beere, E. Linfield, D. Ritchie, G. Davies. *Appl. Phys. Lett.*, **84** (4), 475 (2004).
- [14] J. Popp, M. Haider, M. Franckie, J. Faist, C. Jirauschek. In: *2020 Int. Conf. on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD)* (Turin, Italy, 2020). doi: 10.1109/NUSOD49422.2020.9217784
- [15] J. Popp, M. Haider, M. Franckie, J. Faist, C. Jirauschek. In: *2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the Int. Union of Radio Science* (Rome, Italy, 2020). doi: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232167
- [16] J. Popp, M. Haider, M. Franckie, J. Faist, C. Jirauschek. *Opt. Quant. Electron.*, **53** (6), 287 (2021).
- [17] link: <https://www.nextnano.de/>. Accepted date: 21.09.2021.
- [18] A.V. Babichev, V.V. Dudelev, A.G. Gladyshev, D.A. Mikhailov, A.S. Kurochkin, E.S. Kolodeznyi, V.E. Bougrov, V.N. Nevedomskiy, L.Y. Karachinsky, I.I. Novikov, D.V. Denisov, A.S. Ionov, S.O. Slipchenko, A.V. Lutetskiy, N.A. Pikhin, G.S. Sokolovskii, A.Y. Egorov. *Techn. Phys. Lett.*, **45** (7), 735 (2019).
- [19] A.V. Babichev, A.S. Kurochkin, E.C. Kolodeznyi, A.V. Filimonov, A.A. Usikova, V.N. Nevedomskiy, A.G. Gladyshev, L.Y. Karachinsky, I.I. Novikov, A.Y. Egorov. *Semiconductors*, **52** (6), 745 (2018).
- [20] A.E. Zhukov, G.E. Cirlin, R.R. Reznik, Y.B. Samsonenko, A.I. Khrebtov, M.A. Kaliteevski, K.A. Ivanov, N.V. Kryzhanovskaya, M.V. Maximov, Z.I. Alferov. *Semiconductors*, **50** (5), 662 (2016).
- [21] G.E. Cirlin, R.R. Reznik, A.E. Zhukov, R.A. Khabibullin, K.V. Maremyanin, V.I. Gavrilenko, S.V. Morozov. *Semiconductors*, **54** (9), 1092 (2020).
- [22] H.E. Beere, J.R. Freeman, O.P. Marshall, C.H. Worrall, D. Ritchie. *J. Cryst. Growth*, **311** (7), 1923 (2009).
- [23] X. Wang, C. Shen, T. Jiang, Z. Zhan, Q. Deng, W. Li, W. Wu, N. Yang, W. Chu, S. Duan. *AIP Adv.*, **6** (7), 075210 (2016).

Редактор Г.А. Оганесян

Heterostructure of a 2.5 THz range quantum-cascade detector

A.V. Babichev¹, E.S. Kolodeznyi¹, A.G. Gladyshev¹,
D.V. Denisov², A. Jollivet³, P. Quach³,
L.Ya. Karachinsky^{1,4,5}, V.N. Nevedomskiy⁴,
I.I. Novikov^{1,5}, M. Tchernycheva³,
F.H. Julien³, A.Yu. Egorov⁵

¹ ITMO University,
197101 St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg Electrotechnical University „LETI“,
197022 St. Petersburg, Russia

³ Centre de Nanosciences
et de Nanotechnologies (C2N),
UMR 9001 CNRS, Universite Paris-Saclay,
91120 Palaiseau, France

⁴ Ioffe Institute,
194021 St. Petersburg, Russia

⁵ Connector Optics LLC,
194292 St. Petersburg, Russia

Abstract The design of the heterostructure of a 2.5 THz range quantum-cascade detector is proposed and heterostructure is grown by molecular-beam epitaxy technique. To optimize the thicknesses of the layers of the heterostructure cascades, a numerical method for iterative solution of the Schrödinger–Poisson equation in the $k \cdot p$ formalism was used. The grown heterostructure of the quantum-cascade detector showed a high structural perfection, confirmed by the small values of the average FWHM of the high-order satellite peaks on the X-ray diffraction rocking curves, which were $(8.3 \pm 0.5)''$. Analysis of dark-field images obtained by transmission electron microscopy showed that the total thickness of the layers in the cascade is (137.3 ± 6.9) nm, which corresponds to the calculated thickness of the layers in the cascade of the heterostructure of the quantum-cascade detector.