

Разработка и юстировка квантового каскадного лазера

Дёмкин Павел Павлович МГТУ им. Н.Э. Баумана	Demkin.Pavel1996@yandex.ru
Анфимов Дмитрий Романович МГТУ им. Н.Э. Баумана	anfimovdr@student.bmstu.ru
Голяк Игорь Семенович МГТУ им. Н.Э. Баумана	golyakis@bmstu.ru
Голяк Илья Семенович МГТУ им. Н.Э. Баумана	iliyagol@mail.ru
Гылка Роман Андреевич ЦПФ МГТУ им. НЭ. Баумана	gyylkara@student.bmstu.ru
Карпов Иван Александрович МГТУ им. Н.Э. Баумана	kia21f012@student.bmstu.ru
Морозов Андрей Николаевич МГТУ им. Н.Э. Баумана	amor@bmstu.ru
Небритова Ольга Александровна МГТУ им. Н.Э. Баумана	onebritova@bmstu.ru
Фуфурин Игорь Леонидович МГТУ им. Н.Э. Баумана	igfil@mail.ru

Разработка новых лазеров для исследования веществ в окружающей среде, в частности диагностики выдыхаемого человеком воздуха, является одной из важных задач развития лазерной спектроскопии. Для исследования многокомпонентных смесей представляется перспективным анализ ИК спектров, полученных с использованием широкополосных квантово-каскадных лазеров. Рассмотрена разработка перестраиваемого квантово-каскадных лазеров.

Ключевые слова: ИК-спектрометрия, приборные устройства, квантово-каскадный лазер, разработка и проектирование

Квантово-каскадные лазеры (ККЛ) являются полупроводниковыми лазерами, которые излучают в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне [1]. В отличие от типичных полупроводниковых лазеров, которые излучают свет путем рекомбинации пар электрон-дырка через энергетический разрыв между материалами, ККЛ однополярные, а лазерная эмиссия достигается за счет перехода между энергетическими уровнями в сетки квантов [2].

Созданный научным коллективом ККЛ основан на чипе Alpes Lasers sb12746, основные характеристики чипа указаны приведены ниже:

- резонатор — ячейка Фабри — Перо;
- длина 3,0 мм;
- ширина 22 мкм ;

- сопротивление 141 Ом;
- ширина спектральной линии 1 см^{-1} ;
- диапазон перестройки $850 \dots 1040 \text{ см}^{-1}$;
- ширина импульса 300 нс;
- частота следования импульсов 100 кГц.

Схема квантово-каскадной усиливающей среды приведена на рис. 1.

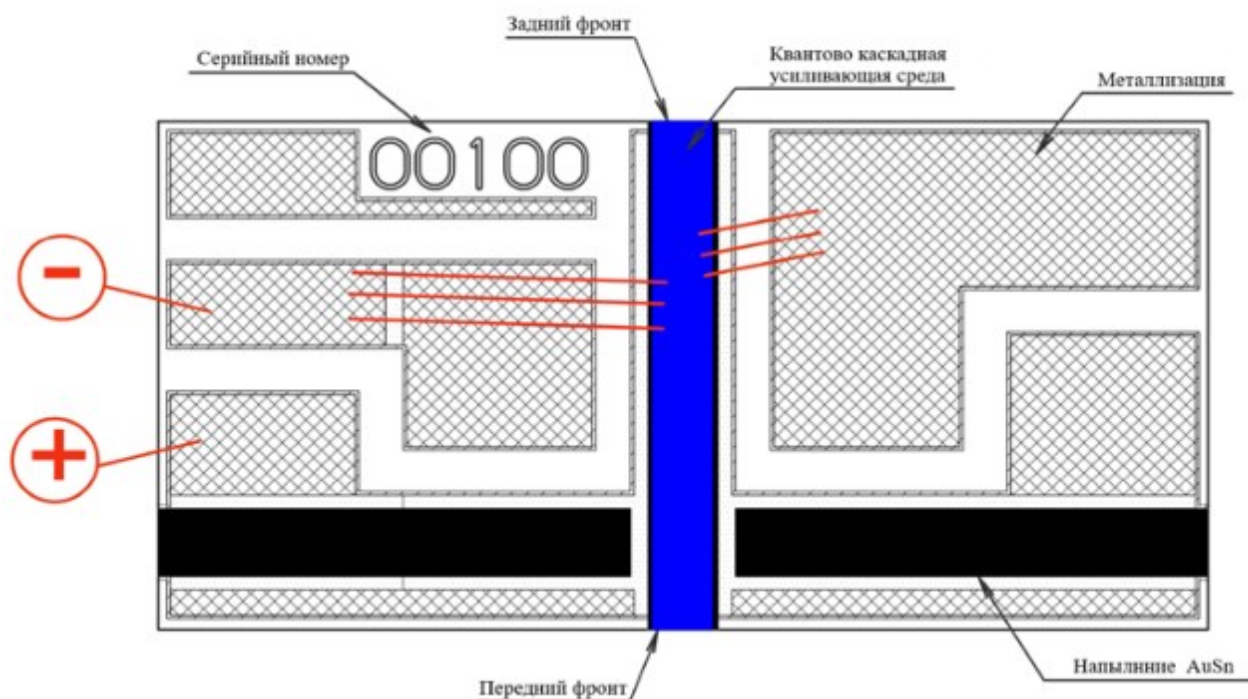


Рис. 1. Схема квантово-каскадной усиливающей среды для чипа Alps Lasers sb12746

Чип расположен на охлаждаемой платформе с двумя закрепленными на ней инфракрасными асферическими коллимирующими линзами (рис. 2.). Данные линзы предназначены для формирования пучка лазера, и они имеют фокусное расстояние 0,7 мм.

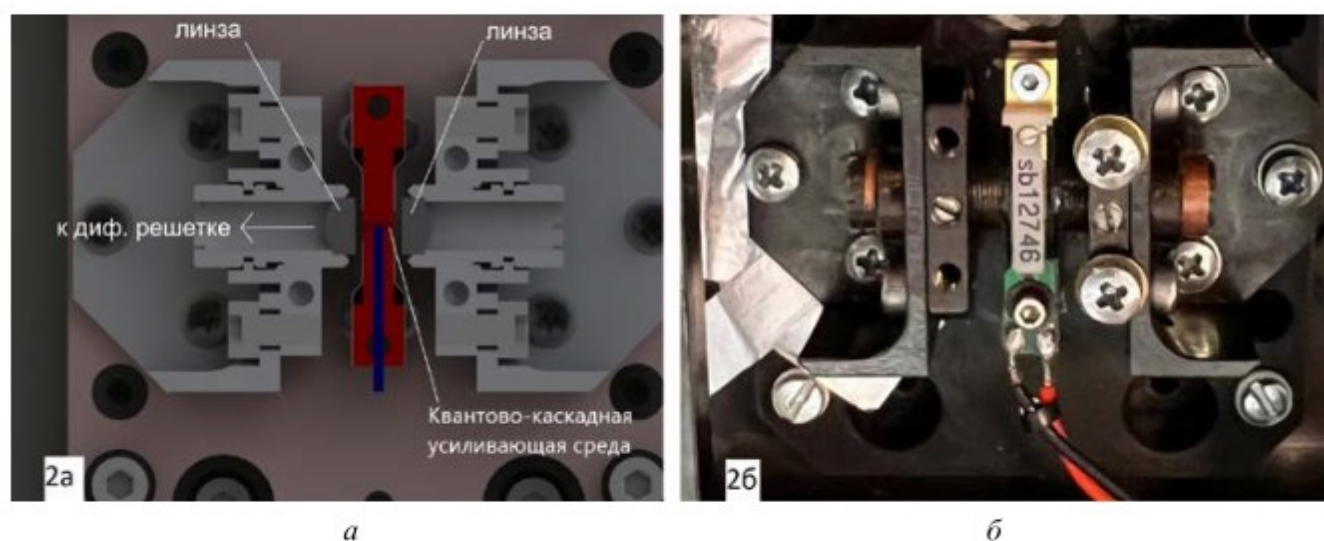


Рис. 2. Расположение чипа Alps Lasers sb12746 на платформе:

a — 3D-модель платформы с обозначенными основными элементами; *б* — фотография платформы в экспериментальной сборке

Хотя квантово-каскадная усиливающая среда может использоваться для получения некогерентного света в суперлюминесцентной конфигурации, чаще всего она используется в сочетании с оптическим резонатором для формирования лазера [3].

Для формирования перестройки ККЛ используем схему с внешним резонатором в конфигурации Литтроу (рис. 3) [4]. В ней используется дифракционная решетка, чтобы выделить отдельные длины волн в диапазоне (см. основные характеристики чипа Alpes Lasers sb12746). Основные характеристики дифракционной решетки приведены ниже:

- угол клина решетки 35° ;
- оптимальный эффективный диапазон $9,0...11,0$ мкм;
- количество клиньев 150;
- дисперсия $4,2$ нм/мрад;
- допуски по размерам $\pm 0,5$ мм.

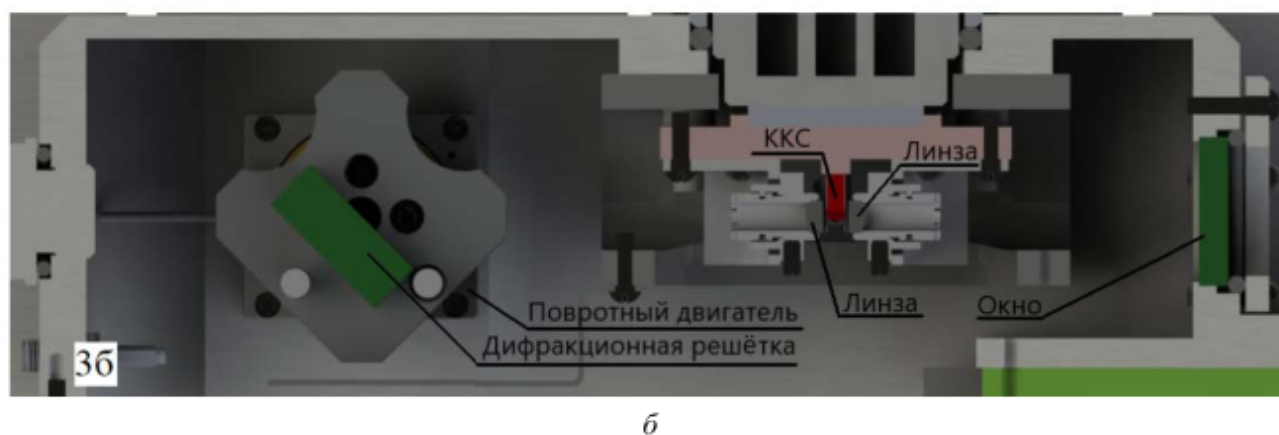
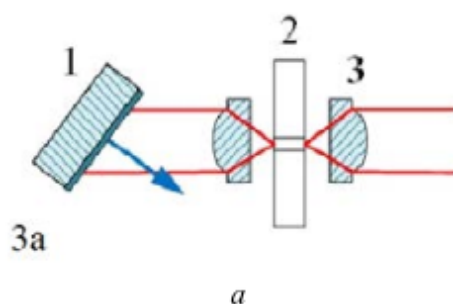


Рис. 3. Схема резонатора в конфигурации Литтроу:

a — 3D-модель конфигурации Литтроу в сборке прибора, 1 — дифракционная решетка, 2 — квантово-каскадный лазер, 3 — линзы; *а* — схема внешнего резонатора в конфигурации Литтроу;

Для вращения дифракционной решетки использован поворотный двигатель Хегуон ХРТ-У 30. Основные характеристики поворотного двигателя приведены ниже:

- разрешение энкодера 109 мкрад;
- тип энкодера оптический;
- точность позиционирования двигателя $\pm 0,017$ %;
- минимальный угол поворота двигателя 125 мкрад;
- максимальная скорость двигателя 720 град/с;
- минимальная скорость двигателя $0,008$ град/с.

При температуре 25° с помощью ИК-Фурье-спектрометра был получен спектр излучения, перестраиваемого ККЛ (рис. 4).

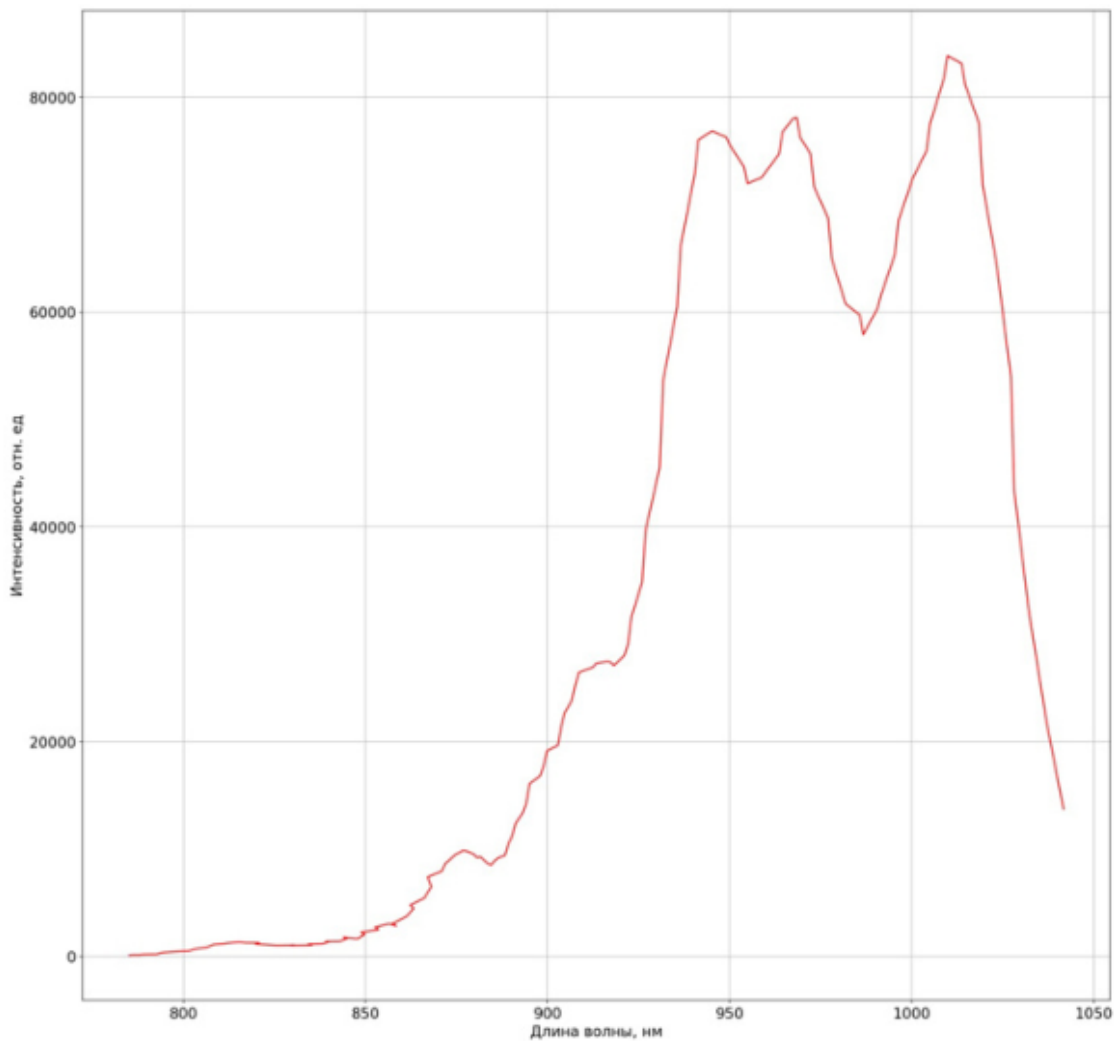


Рис. 4. Спектр перестройки квантово-каскадного лазера

Полученный результат показывает, что разработанный ККЛ можно использовать как источник излучения в диапазоне от 850 до 1040 см^{-1} . Наибольшая относительная погрешность интенсивности излучения равна 3,9 %.

Работа выполнена в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г. № 729

Литература

- [1] Faist J., Capasso F., Sivco D.L., Sirtori C., Hutchinson A.L., Cho A.Y. Quantum cascade laser. *Science*, 1994, vol. 264, iss. 5158, pp. 553–556. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.264.5158.553>
- [2] Казаринов Р.Ф., Сурис Р.А. О возможности усиления электромагнитных волн в полупроводниках со сверхрешеткой. *Физика и техника полупроводников*, 1971, т. 5, вып. 4, с. 797–800.
- [3] Zibik E., Ng W., Revin D., Wilson L., Cockburn J., Groom K., Hopkinson M. Broadband $6 \mu\text{m} < \lambda < 8 \mu\text{m}$ superluminescent quantum cascade light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, 2006, vol. 88, iss. 12, art. no. 121109. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2188371>
- [4] Maulini R., Beck M., Faist J., Gini E. Broadband tuning of external cavity bound-to-continuum quantum-cascade lasers. *Applied Physics Letters*, 2004, vol. 84, iss. 10, art. no. 1659. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1667609>