

Российские физики разработали перестраиваемый полупроводниковый микродисковый лазер для среднего инфракрасного диапазона

Лазеры такого типа востребованы для быстрого определения утечек метана в шахтах, на газопроводах, подземных сооружениях

Специалисты Института физики микроструктур РАН (ИФМ РАН), Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН) создали микродисковый лазер с термоэлектрическим охлаждением для среднего инфракрасного (ИК) диапазона на основе полупроводниковых наноструктур теллурида кадмия и ртути. Новый ИК лазер способен работать на разных длинах волн. Полупроводниковый материал для лазера выращен в ИФП СО РАН: сегодня это единственный в мире научный центр, обладающий технологией синтеза требуемых волноводных структур — множественных квантовых ям на основе теллурида кадмия и ртути.

Результаты работы опубликованы в высокорейтинговом научном журнале [«Applied Physics Letters»](#). Исследования велись в ходе реализации крупного научного проекта [«Квантовые структуры для посткремниевой электроники»](#), поддержанного Минобрнауки России.

Лазеры, излучающие в среднем инфракрасном диапазоне, в одном из окон прозрачности атмосферы 3-5 микрон, нужны для экологического мониторинга, медицинской диагностики и химического анализа. В частности, подобные устройства востребованы для поиска утечек метана в шахтах, на газопроводах.

Ранее лазеры с активной средой на квантовых ямах теллурида кадмия и ртути требовали охлаждения не менее, чем до минус 120 градусов Цельсия. Сейчас ученым удалось добиться повышения рабочей температуры до минус 43 градусов, что позволяет использовать для охлаждения рабочей среды миниатюрный термоэлектрический преобразователь — элемент Пельтье, а не крупногабаритные установки, такие как криогенные панели. Лазер был сделан в Институте физики микроструктур РАН.

Моды шепчущей галереи — для лазера

«Рабочая (активная) среда лазера — полупроводниковая структура сложного состава, выращенная в ИФП СО РАН, содержит несколько узких квантовых ям (толщинами 3-4 нанометра) на основе теллурида ртути. Именно в узких квантовых ямах возможна генерация излучения в диапазоне 3,8 — 4,7 микрон. Однако, чтобы сделать лазер, излучение нужно поместить в резонатор, для чего мы рассчитали и изготовили микродисковую конструкцию лазерного резонатора на модах шепчущей галереи. Таким образом, излучение усиливается путем многократного отражения от стенок диска. Микродиск был изготовлен с помощью ионного травления и безмасочной литографии, при этом нам удалось добиться нужных параметров, не ухудшив при этом свойства исходного материала», — говорит заведующий лабораторией ИФМ РАН доктор физико-математических наук **Сергей Вячеславович Морозов**.

Хорошо известен эффект мод шепчущей галереи для акустических волн: в соборе Святого Павла в Лондоне можно услышать шепот собеседника, находясь от него даже на противоположном краю округлого сооружения, на расстоянии

более 33 метров. Своим появлением эффект обязан возникновению стоячей звуковой волны в результате отражения звука от стенок собора.

Микродисковый резонатор лазера функционирует похожим образом, но не для звуковых волн, а для инфракрасного излучения в диапазоне 3-5 микрон.

Выращивание полупроводникового материала (многослойных структур с квантовыми ямами) высокотехнологичным методом молекулярно-лучевой эпитаксии проводили специалисты ИФП СО РАН. Требуемые физические характеристики материала играют ключевую роль для работы лазера. Квантовая яма — это тонкий слой полупроводника (толщиной примерно в несколько десятков атомов), ограниченный с двух сторон барьерными слоями — полупроводниками другого состава. Чтобы вырастить такую структуру, нужно тщательно контролировать состав и толщину — в буквальном смысле на атомарном уровне.

Контролируемое получение множественных квантовых ям

«Профиль распределения состава каждой квантовой ямы строго выдержан, кроме того ямы должны быть идентичны, а в полупроводниковой структуре, которая использовалась при разработке лазера, таких ям — тринадцать. В нашем Институте отработана технология контролируемого выращивания квантовых ям на основе теллурида кадмия ртути и запатентован способ контроля толщины и состава с помощью эллипсометрических измерений. Мы можем воспроизводимо выращивать структуры даже с большим числом квантовых ям — 40-50. Больше никто в мире не умеет этого делать», — объясняет старший научный сотрудник ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук **Николай Николаевич Михайлов**.

Созданию лазера предшествовала длительная совместная работа нижегородских и новосибирских физиков.

«Ранее наши коллеги провели экспериментальные и теоретические исследования, показавшие возможность возникновения в узких квантовых ямах излучательных процессов, и подавления безызлучательных, так называемых оже-процессов. Мы последовательно оптимизировали дизайн и технологию роста структур: добились низкого содержания кадмия в квантовых ямах до нескольких процентов, разработали методику контроля профиля распределения состава в квантовых ямах нанометрового размера», — добавляет Николай Михайлов.

Лазер работает в импульсном режиме. Оптическая накачка лазера проводилась оптическим параметрическим осциллятором с длиной волны два микрона. Накачка переводит рабочую среду в возбужденное состояние, это необходимое условие возникновения лазерного излучения.

«Сейчас наш лазер — экспериментальный, это лабораторный прототип. Следующий шаг будет связан с его миниатюризацией: мы планируем использовать для накачки небольшие коммерческие полупроводниковые лазеры доступные на рынке. Важное преимущество созданного нами лазера: его конструкция позволяет, меняя температуру рабочей среды, настраивать длину волны излучения в широком диапазоне, что требуется для проведения химического анализа, диагностики и молекулярной спектроскопии. Квантово-каскадные и оптоволоконные лазеры такой возможности не дают», — подчеркивает Сергей Морозов.

Иллюстрации по ссылке <https://disk.yandex.ru/d/8UVL8a4SaBZqyg>

1. Полупроводниковая гетероструктура, с квантовыми ямами, выращенная на основе твердого раствора Cd-Hg-Te (фото Виктора Яковлева)
2. старший научный сотрудник ИФП СО РАН Николай Михайлов (фото Виктора Яковлева)
3. Заведующий лабораторией ИФМ РАН Сергей Морозов
4. Микродисковый лазерный резонатор. Изображение получено с помощью сканирующего электронного микроскопа. Фото предоставлено Сергеем Морозовым