**Физики разработали материал для генерации лазерного излучения, проникающего сквозь различные вещества**

Международная группа ученых обнаружила, что полупроводниковые структуры на основе твердых растворов кадмий-ртуть-теллур, способны генерировать лазерное излучение в терагерцовом диапазоне. Более того, используя слабое магнитное поле, можно менять длину волны лазера (что важно для технологических применений). Ранее попытки сделать подобные источники когерентного излучения терпели неудачу. В успешном эксперименте приняли участие исследователи Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, синтезировавшие материал требуемого состава. Подробности опубликованы в журнале [Nature Photonics.](https://www.nature.com/articles/s41566-019-0496-1)

Терагерцовое излучение проникает сквозь различные вещества, не нарушая их структуру, и поэтому может использоваться в диагностической медицине, системах безопасности, научных целях, для неразрушающего контроля качества материалов. Чтобы реализовать эти применения, нужны переносные источники излучения небольшого размера, перспективные материалы для их разработки — полупроводниковые структуры. Для создания с помощью последних лазерного луча, генерируется избыточное количество электронов в возбужденном (высокоэнергетическом) состоянии. Обратный переход электронов из возбужденного состояния в обычное сопровождается либо испусканием фотонов, либо безызлучательным процессом — преимущественно Оже-рекомбинацией. Если ее скорость существенно меньше скорости испускания фотонов, тогда возникает когерентное (лазерное) излучение.

Довольно давно теоретиками была предложена концепция лазера на уровнях Ландау: в таком приборе можно управлять длиной волны, изменяя магнитное поле и добиться излучения в терагерцовом диапазоне. Но до сих пор надежное устройство подобной конструкции не было реализовано, именно из-за эффекта Оже-рекомбинации.

*«Мы вырастили полупроводниковую наноструктуру на основе твердого раствора кадмий-ртуть-теллур с составом, в котором наблюдается безщелевой энергетический спектр — то есть ширина запрещенной зоны полупроводника равна нулю. Большая группа наших коллег из совместной международной лаборатории (Laboratory of Terahertz and Mid-Infrared collective Phenomena in Semiconductor Nanostructures, TERAMIR), включая ученых из Франции, Германии и Польши провела исследования новых структур и экспериментально пронаблюдала подавление Оже-рекомбинации до трех порядков, что открывает перспективы для создания терагерцовых лазерных структур. Вырастить требуемый полупроводниковый материал непросто: в каждой его точке должен соблюдаться определенный состав с нужными концентрациями кадмия, теллура и ртути, и флуктуации состава должны быть минимальны. Невозможно избежать их полностью, но они тем меньше, чем ниже температура роста. Мы использовали метод молекулярно-лучевой эпитаксии, он позволяет выбрать минимальные ростовые температуры по сравнению с другими способами и вырастить кристаллические пленки нанометровой толщины заданного состава. Причем последний можно контролировать на атомарном уровне»,* — пояснил старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений A2B6 ИФП СО РАН кандидат физико-математических наук Николай Николаевич Михайлов.

В ИФП СО РАН ведутся многолетние исследования по разработке структур на основе теллурида кадмия и ртути, которые преимущественно используются в фотоприемниках инфракрасного излучения. У этого полупроводникового материала изменяется ширина запрещенной зоны в зависимости от соотношения кадмия и ртути в твердом растворе. Запрещенная зона — энергия, нужная электрону для перехода из валентной зоны в зону проводимости. Проще говоря, когда электроны преодолевают запрещенную зону, полупроводник начинает проводить ток.

«*Твердый раствор теллурида кадмия и ртути при малом содержании последней переходит в инвертированное состояние, где зона проводимости и валентная зона как бы меняются местами. Существует критическая точка по составу, в которой ширина запрещенной зоны равна нулю, и энергетический спектр становится подобным графену*», — отметил Николай Михайлов.

В этом случае при приложении к такой структуре магнитного поля происходит нехарактерное для обычного полупроводника неэквидистантное распределение уровней Ландау — уровней энергий свободных электронов в магнитном поле. Неэквидистантность означает то, что энергетическое расстояние между соседними уровнями неодинаково. Как следствие, Оже- рекомбинация становится практически невозможна, а электроны, переходя с высокоэнергетического состояния в низкоэнергетическое («спускаясь по лестнице уровней энергии») испускают фотоны — возникает лазерное излучение.

Проведенные исследования показали, что материал на основе твердых растворов теллурида кадмия и ртути с составом, соответствующим безщелевому энергетическому спектру перспективен для создания компактного лазера для терагерцовых и инфракрасных областей спектра с перестраиваемой малыми магнитными полями длиной волны излучения.

Однако пока ключевое препятствие для широкомасштабного использования такого устройства — необходимость соблюдения рабочей температуры, близкой к абсолютному нулю.

Пресс-служба ИФП СО РАН

Иллюстрации:

1. Полупроводниковая гетероструктура, выращенная на основе твердого раствора кадмий-ртуть-теллур

2. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии в Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, на которой выращены полупроводниковые структуры кадмий-ртуть-теллур

Автор фото: Виктор Яковлев