

Интересный факт

Один из лучших материалов для инфракрасных детекторов, предельно чувствительный, работающий для разных длин волн во всех окнах прозрачности атмосферы, — тройное соединение кадмий-ртуть-теллур (HgCdTe). Это фоточувствительное соединение не встречается в природе и для применения синтезируется так, чтобы на его основе можно было создать фотодиоды — электронные компоненты, трансформирующие световой поток в электрический сигнал. «Однако произвести такой фоточувствительный материал нелегко. Необходимо точно соблюдать состав: баланс кадмия, ртути и теллура, а также толщину и последовательность разных слоев. Для этого используется перспективный метод молекулярно-лучевой эпитаксии, — объясняет заместитель директора по научной работе Института физики полупроводников им. Ржанова СО РАН Максим Якушев. — В сверхвысоком вакууме (гораздо более чистом, чем в космосе) на специальную подложку из кадмий-цинк-теллура, арсенида галлия, кремния или германия падают молекулярные потоки кадмия, ртути и теллура. В результате происходит образование кристаллического слоя соединения кадмий-ртуть-теллур нужной толщины и состава, которые контролируются на нанометровом уровне».

Одна из вакуумных камер установки молекулярно-лучевой эпитаксии в ИФП СО РАН

например, круглосуточной охраны крупного порта. Высокая чувствительность требуется и при проведении экологического мониторинга: так можно обнаружить разлив нефти под снегом. Сфер применения много в энергетике: от диагностики электронных микросхем до дистанционного поиска нарушений на коммуникациях (линиях электропередач, трубопроводах и т. п.) — везде, где критично даже минимальное тепловыделение.

Для проведения медико-биологических, криминалистических исследований часто используются фурье-спектрометры, оснащенные инфракрасным детектором высокой чувствительности. Такие устройства позволяют определить состав вещества и даже ориентацию молекул по инфракрасному спектру соединений. Масштабные астрономические наблюдения невозможны без суперчувствительных инфракрасных детекторов с большой разрешающей способностью — такие использовались на космическом телескопе «Спитцер», специализировавшемся на наблюдении за далекими и холодными объектами, скрытыми в видимом диапазоне из-за межзвездной пыли, но хорошо определяемыми в инфракрасном диапазоне.

Дистанционное зондирование поверхности Земли с помощью инфракрасных фотоприемников, установленных на спутниках, необходимо при проведении геологоразведки, для мониторинга состояния атмосферы, в том числе определения загрязняющих веществ, обнаружения лесных пожаров.

Преимущества тепловизора при проведении медицинских исследований — это в первую очередь возможность бесконтактного получения диагностических данных о малейших изменениях температуры кожи человека. Причем без каких-либо воздействий на организм. Анализируя такую поверхностную «термокарту» и ее изменения во времени, можно выделить аномалии — предполагаемые проблемные области — и обнаружить патологические процессы. Так, в новосибирском Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН уже четверть века проводятся подобные биомедицинские научные исследования с использованием матричных медицинских тепловизоров «ТКВр-ИФП/СВИТ» собственного производства с инфракрасным детектором на основе арсенида индия.

КТО СДЕЛАЕТ ГЛАЗА ДЛЯ СПУТНИКА?

Пожалуй, максимальные требования предъявляются к приборам, которые «смотрят» далеко: на Земле, в воздухе, в космосе. Принцип работы фотоприемной матрицы, чувствительной в инфракрасной области спектра, такой же, как у матрицы в обычном фотоаппарате. Но инфракрасной матрице приходится улавливать фотоны с другой длиной волны, нежели фотоны видимого света, и для этого нужен специальный полупроводниковый материал сложного состава. К тому же инфракрасное излучение поглощается земной атмосферой, но есть так называемые окна прозрачности — инфракрасные волны определенной длины (1–3, 3–5, 8–12 микрон), которые могут пройти сквозь атмосферу. Поэтому фоточувствительный материал должен улавливать фотоны именно с такими длинами волн.

Но даже сложная эпитаксиальная технология решает проблему производства кадмий-ртуть-теллура лишь отчасти. Дело в том, что параметры кристаллической решетки подложки и синтезируемого на ней слоя должны быть похожи. Наиболее подходящие подложки для кадмий-ртуть-теллура состоят из теллурида цинка и ртути. Их практически невозможно сделать большого размера, к тому же они дорогостоящи. Кремниевые подложки были бы идеальны, так как они дешевы, могут быть любых размеров, плюс автоматически решается проблема совместимости выращенного материала с другими электронными компонентами. Большинство из них, включая схему считывания сигнала для построения изображения, в своей основе имеют именно кремний.

Однако параметры кристаллической решетки

ФОТО: В. ЯКОВЛЕВ, ИФП СО РАН



↑ Инженер-оптик Джефф Гам выравнивает приемную аппаратуру в фокальной плоскости детектора при помощи трехмерного микроскопа в Центре космических полетов Годдарда НАСА в США. Данный прибор станет частью Камеры ближнего инфракрасного диапазона (NIRCam) космического телескопа «Джеймс Уэбб».

кадмий-ртуть-теллура и подложек из кремния отличаются примерно на 19 %. Это гигантское расхождение: все равно как если бы дом в форме шестиугольника строили на квадратном фундаменте. При прямой эпитаксии — выращивании кадмий-ртуть-теллура непосредственно на кремнии — синтезируемая пленка получится дефектной и работать не будет. «Чтобы решить эту проблему, создается искусственная подложка, в которой параметры решеток будут близки. Это достигается последовательным синтезом слоев теллурида цинка и теллурида кадмия, — отмечает ведущий научный сотрудник лаборатории технологии эпитаксии из молекулярных пучков соединений A_2B_6 СО РАН Сергей Дворецкий. — Тем не менее при формировании такой подложки не удастся избежать введения большого количества дефектов (дислокаций) в слои кадмий-ртуть-теллура, уменьшение которых до минимального уровня проводится с использованием разных приемов».

Мегапиксельные инфракрасные детекторы сегодня, помимо ИФП СО РАН, делают только американские компании, такие как Raytheon и Teledyne, работы по созданию подобных устройств также ведутся в Китае. Разработчик электронных компонентов для космических и беспроводных систем Teledyne Technologies изготавливает один из самых продвинутых приборов на данный момент — матрицы формата 2048 × 2048 пикселей и мозаичные детекторы размера 4000 × 4000 пикселей, состоящие из четырех матриц меньшего размера. Специалисты ИФП СО РАН создали аналогичные мозаичные детекторы формата 3000 × 3000 с возможностью увеличения

разрешения до 4000 × 4000, но подобные крупногабаритные изделия производятся штучно, серийный выпуск подобных компонентов нерентабелен.

ОТ МАТЕРИАЛА К ПРИБОРУ

После того как высокотехнологичный материал выращен, предстоит сделать фотоприемное устройство, которое и будет тем самым «техническим глазом», способным видеть в темноте и в тумане, заглянуть в далекий космос.

Сердце такого прибора — фотодиодная матрица, в ней каждый фотодиод (пиксель) отвечает за преобразование инфракрасного излучения в электрический сигнал. Соответственно, чем больше матрица и чем больше в ней фотодиодов, тем лучше качество изображения.

Технологический процесс изготовления матрицы фотодиодов содержит более 60 операций, в том числе фотолитографию, нанесение диэлектриков, напыление металлов и резку пластины на отдельные матрицы. Каждую из них сотрудники института выполняют с ювелирной точностью:

Между прочим

Высоко-чувствительные инфракрасные детекторы работают только при очень низких температурах.

Синтез

В мире всего 20 технологических и исследовательских групп синтезируют тонкие пленки кадмий-ртуть-теллура, но лишь отдельные коллективы научились выращивать их на кремниевых подложках. В нашей стране этим занимается новосибирский Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН. Исследователи и технологи института разработали широкую линейку форматов матричных детекторов, чувствительных в инфракрасном диапазоне: от небольших — 4 × 288 пикселей до мегапиксельных (2000 × 2000 пикселей) для всех спектральных диапазонов окон прозрачности. Выращивание кристаллических пленок ведется на оборудовании собственного производства — установках молекулярно-лучевой эпитаксии. Синтез структур большой площади решает проблему масштабирования технологии, удешевляя стоимость конечной продукции.