

УДК 621.315.592

А. Ф. Булдыгин, А. В. Вдовин, С. А. Студеникин,
А. С. Токарев, В. С. Варавин

(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК CdHgTe СВЧ-МЕТОДОМ

Описан СВЧ-метод для исследования и локальной диагностики спектральных зависимостей фотоэлектрических свойств пленок узкозонных полупроводников в ИК-области спектра. Возможности метода демонстрируются на примере пленок тройного соединения кадмий—ртуть—теллур (КРТ), выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Возможности описанного метода не ограничиваются пленками КРТ, он может быть использован для исследования и бесконтактной диагностики других полупроводниковых фоточувствительных структур.

При создании больших матриц и линеек фотоприемников возникает проблема выращивания и контроля однородности исходных фоточувствительных пластин вдоль поверхности по величине фотоотклика. В узкозонных материалах с переменным составом для фотоприема в среднем ИК-диапазоне (от 5 до 10 мкм и более), таких как тройное соединение кадмий—ртуть—теллур (КРТ), эта проблема усложняется еще двумя факторами: пленки обычно имеют малое время жизни фоторожденных носителей и неоднородны по составу вдоль поверхности пластины. Поэтому при создании технологии и разбраковке исходных пластин фотоматриц важное значение приобретают бесконтактные неразрушающие методы исследования однородности величины и спектральной характеристики фотопроводимости.

Для решения данной проблемы наиболее обещающими являются методы зондирования фоторожденных носителей СВЧ-излучением [1—3]. Однако применимость этих методов для изучения спектров фоточувствительности КРТ в области 5—10 мкм оставалась под вопросом, поскольку, во-первых, в узкозонных материалах фоторожденные носители имеют малое время жизни по сравнению с широкозонными материалами, где СВЧ-зонд работает хорошо [3], во-вторых, спектральная плотность излучения монохроматоров в указанной области низка, следовательно, мала и концентрация фотогенерированных носителей.

В данной работе мы описываем простую установку и сообщаем об успешном применении метода фотоиндуцированного отражения СВЧ-волны для контроля однородности величины и спектра фоточувствительности пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ на подложках из арсенида галлия [4].

Принцип метода заключается в следующем. Пучок света с переменной энергией квантов от монохроматора фокусируется в область образца, на которую одновременно падает и СВЧ-волна. Если энергия квантов света больше, чем ширина запрещенной зоны, будет происходить фотовозбуждение неравновесных носителей, что приведет к изменению проводимости образца и, следовательно, коэффициента отражения. Таким образом, регистрируя изменение интенсивности отраженной от образца СВЧ-волны в зависимости от длины волны оптического излучения, можно получить данные о спектральной чувствительности исследуемой пленки. Перемещение пленки относительно

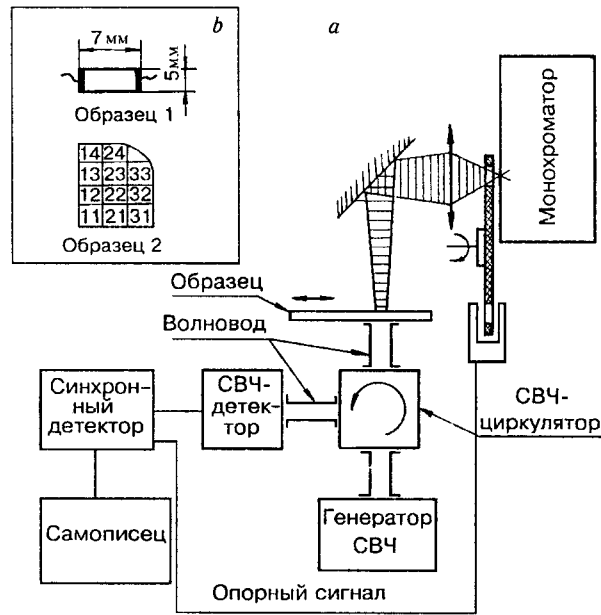


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

зондирующих СВЧ- и оптического излучений дает информацию об ее однородности по составу и фоточувствительности.

На рис. 1, а приведена блок-схема экспериментальной установки. Луч света от монохроматора фокусировался на поверхность образца, охлажденного до температуры $T = 78$ К жидким азотом. Со стороны подложки с использованием круглого волновода ($d = 6$ мм) подводилось СВЧ-излучение $f = 38$ ГГц. Отраженная СВЧ-волна циркулятором направлялась на СВЧ-детектор. Регистрация сигнала с СВЧ-детектора на частоте модуляции светового потока производилась синхронным детектором с последующей записью на самописце. Таким образом измерялось приращение коэффициента отражения СВЧ-волны, обусловленное светом. В дальнейшем для краткости это фотоиндуцированное отражение СВЧ-волны будем называть фотоотражением СВЧ (ФОСВЧ).

Для изучения возможностей методики были подготовлены два образца пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ [4] на подложках из арсенида галлия, форма которых показана на рис. 1, б. Образец 1 представлял собой пленку КРТ с составом $x \approx 0,2$ прямоугольной формы, на краях которой были изготовлены

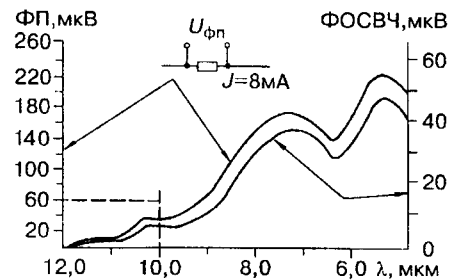


Рис. 2. Спектральные зависимости фотопроводимости и ФОСВЧ, измеренные на образце 1 при $T = 78$ К

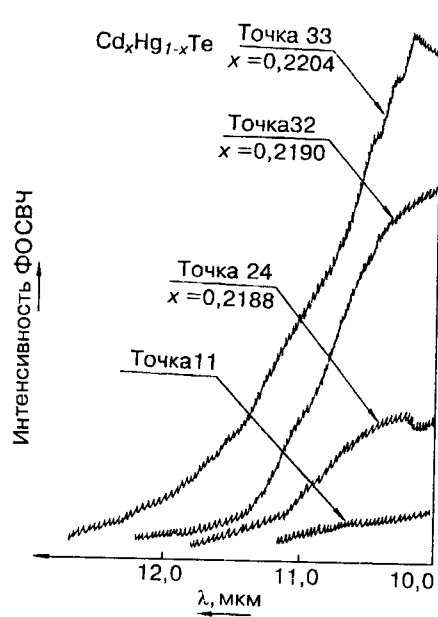


Рис. 3. Спектральные зависимости ФОСВЧ в области края фундаментального поглощения для различных точек образца 2, характеризующие однородность по площади. Рядом с кривыми указаны номер точки (см. рис. 1) и локальный состав пленки x

индиевые контакты. Образец 2 был больших размеров и условно разбит на участки площадью около 5×6 мм, пронумерованные по принципу матричных элементов.

На образце 1 одновременно проводились контактные и бесконтактные измерения сигнала фотопроводимости (ФП) при пропускании постоянного тока через образец и ФОСВЧ. Измеренные спектральные зависимости этих величин приведены на рис. 2. Экспериментальные кривые с хорошей точностью по форме совпадают друг с другом, что позволяет сделать вывод, что фотопроводимость и сигнал ФОСВЧ имеют одну и ту же природу: изменение проводимости пленки за счет фотогенерации носителей и, возможно, их разогрев.

Таким образом, в нашем случае задача исследования фотопроводимости образца сводится к изучению сигнала фотоотражения СВЧ-волны. Участок спектра, выделенный на рис. 2 штрихом, относится к области вблизи края фундаментального поглощения исследуемой пленки КРТ. Наблюдение за этим участком с повышением температуры при отогреве образца позволяет дополнительно убедиться в том, что ФОСВЧ обусловлено фоторожденными носителями: край поглощения смещается в сторону коротких длин волн и становится более пологим, интенсивность в максимуме до некоторой температуры растет, а затем уменьшается. Такое же поведение характерно для сигнала фотопроводимости этих пленок, измеренного обычным контактным способом.

На рис. 3 показана интенсивность ФОСВЧ в области края фундаментального поглощения для нескольких точек образца 2. Из рисунка видно, что пленка существенно неоднородна по площади: абсолютная величина сигнала ФОСВЧ при перемещении вдоль поверхности меняется более чем в 10 раз. Рис. 4 демонстрирует неоднородность пленки по составу, определенному по длине волны отсечки λ_c на полувысоте сигнала ФОСВЧ.

В заключение отметим, что описанный метод СВЧ-зонда для исследования спектральной фотопроводимости может быть эффективным средством неразрушающего контроля полупроводниковых пленочных структур при постановке и сопровождении технологии их выращивания. Процесс обследования образцов данным методом может быть автоматизирован с целью получения

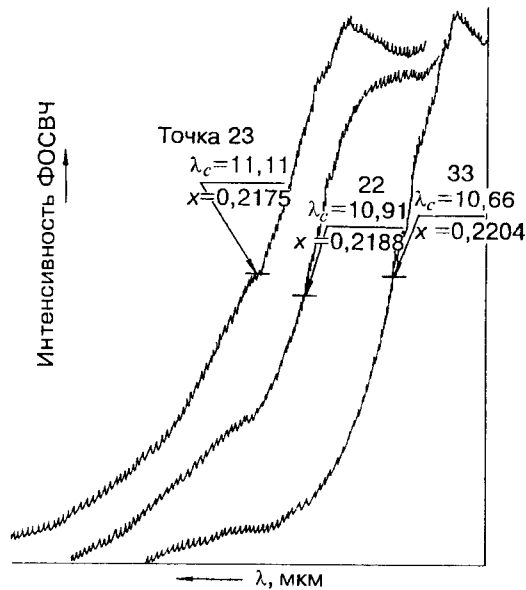


Рис. 4. Спектральные зависимости сигнала Фосвч для нескольких точек образца 2. Рядом с кривыми указаны номер точки (см. рис. 1), длина волны отсечки на полувывсоте λ_c и локальный состав пленки x

топограмм фоточувствительности и состава по площади пластин. Возможности описанного метода не ограничиваются пленками КРТ, и он может быть использован для исследования и диагностики других полупроводниковых фоточувствительных структур.

Авторы выражают благодарность В. Н. Овсюку и В. Я. Принцу за поддержку данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородовский П. А., Булдыгин А. Ф., Ремесник В. Г. Исследование рекомбинации неравновесных носителей заряда в эпитаксиальных структурах p -CdHgTe/CdTe СВЧ-методом // ФТП. 1994. 28, вып. 12. С. 2099.
2. Spada F. J., Rao V. R., Bhat T., Borrego J. M. Non-destructive characterization of HgCdTe using photoinduced microwave reflection // Semicond. Sci. Technol. 1993. 8. P. 936.
3. Wang Z., Chu Y. Use of microwave photoconductivity to measure semiconductor properties // Solid State Electron. 1991. 34, N 7. P. 735.
4. Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. T. et al. The controlled growth of high-quality mercury cadmium telluride // Thin Solid Films. 1995. 267. P. 121.

Поступила в редакцию 25 марта 1996 г.