

УДК 621.383

Становление разработки и производства фотоприемников на основе КРТ в НИИПФ (НПО «Орион») и в СССР

В. И. Стафеев

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»,
Москва, Россия

Рассмотрено развитие работ по исследованию и технологии теллуридов кадмия-ртути, фотоприемников и фотоприемных устройств на его основе в НИИПФ (НПО «Орион») и в СССР.

Полупроводниковый твердый раствор $CdHgTe$ (КРТ) был впервые синтезирован и исследован Шнайдером А. Д. в Львовском государственном университете практически одновременно с учеными Великобритании. Вскоре к исследованию КРТ подключились ученые Франции. В НИИПФ работы по КРТ были начаты после визита Л. Н. Курбатова и В. И. Стафеева в лабораторию супругов Родо во Франции, показавших большую перспективность этого материала для создания высокоэффективных фотоприемников во всем инфракрасном диапазоне спектра.

По инициативе Л. Н. Курбатова НИИПФ предпринял большие усилия по организации разработок КРТ и фотоприемников на его основе. Министерство оборонной промышленности выделило НИИПФ средства для решения этой проблемы. НИИПФ привлек к исследованиям и разработкам КРТ Московский институт стали и сплавов (МИСиС), в котором была организована и оснащена специальная лаборатория. Однако вскоре выяснилось, что вложенные в МИСиС средства не привели к успешному решению этой проблемы.

Поэтому руководство НИИПФ приняло решение организовать разработку КРТ и фотоприемников на его основе непосредственно в институте. Для разработки технологии монокристаллов КРТ в 1968г. была открыта НИР «Мода» — научный руководитель Бовина Л. А. Для разработки фоторезисторов на его основе в лаборатории Таубкина И. И. НИР «Азот» — руководитель Поповян Г. Э.

Однако по-настоящему серьезно эти работы были начаты в 1970 г. В связи с развертыванием разработок систем противоракетной обороны потребовалось создание сверхбыстродействующих фотоприемников для приема излучения лазера на основе CO_2 на длине волны 10,6 мкм. Инициатором этих работ был академик Бункин Б. В. Руководителем работ в НИИПФ был назначен Стафеев В. И.

Для решения проблемы КРТ и фотоприемников на его основе была проведена реорганизация структуры и направления работ ряда подразделений. Во 2 отдел была переведена лаборатория Таубкина И. И., лаборатория Зиновьева В. С., разрабатывавшая конструкции глубокоохлаждаемых фотоприемников. Была полностью сменена тематика лаборатории Сусова Е. В., в которую переведена группа Поповяна Г. Э. Лаборатории поручена разработка фоторезисторов. Бовиной Л. А. в лаборатории Харахорина Ф. Ф. для разработки монокристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ и фотодио-

дов на его основе сформирована тематическая группа. Позднее группа Бовиной Л. А. преобразована в лабораторию и ей поручена также разработка многоэлементных фоторезисторов.

Уже в 1970 г. на основе выращенных в институте монокристаллов созданы первые на основе КРТ одноэлементные фоторезисторы «Азор». Они представлялись во многие организации нашей страны.

Несколько позже начаты разработки фоторезисторов на заводе «Сапфир» (в рамках ОКР «КБ-101») под научным руководством ФТИ АН СССР (Иванов-Омский В. И.). Однако, разработка шла с большим скрипом. В это время в лаборатории Бовиной Л. А. уже были разработаны основы технологии фоторезисторов. Поэтому для ликвидации срыва выполнения ОКР руководством было принято решение назначить Бовину Л. А. заместителем главного конструктора по технологии ОКР «КБ-101». ОКР была успешно выполнена. На заводе «Сапфир» было организовано серийное производство этого первого в СССР серийного фотоприемника на основе КРТ. Он сыграл большую роль в развитии тепловизионной техники в СССР.

В лаборатории Сусова Е. В. в дальнейшем разработано несколько типов одно- и малоэлементных фотоприемников («Крыло-1» «Триада» и др.).

Лаборатории Бовиной Л. А. были поручены ОКР по разработке 10-элементного фоторезистора «Невесомость-10» совместно с заводом «Сапфир» (Потапов И. С., Ларина Г. В.) и 50 — элементного фоторезистора «Агава-ФП». В 1981 г. ОКР «Невесомость-10» предъявлена Госкомиссии, а на заводе «Сапфир» подготовлено производство этих фотоприемников. Однако по инициативе нового директора НИИПФ Лебедева В. С. по известным причинам приемка ОКР была приостановлена, а главным конструктором назначен Сусов Е. В. Точно также ОКР «Агава-ФП» (главный конструктор Бовина Л. А.) была доведена до изготовления опытных образцов и затем прекращена в связи с требованиями заказчика (Красногорский оптикомеханический завод) увеличить число элементов до 128. Взамен поставлена ОКР «Арча». Главным конструктором позднее назначен Лебедев В. С., заместителем — Королев В. В. Эти мероприятия задержали появление в армии тепловизионных прицелов по крайней мере, на 10 лет. Разработанный в эти же годы в лаборатории Бовиной Л. А. 200-элементный фоторезисторный фотоприемник «Лавр» для авиационных систем переднего обзора (для НПО «Геофизика») также лег «на полку». Главный конструктор аппаратуры Хорол Д. А. после разработки, изготовления и поставки первых двух фотоприемников, даже не испытав их в аппаратуре, потребовал уменьшить размер фоточувствительных площадок с 100 мкм до 50 мкм. Такая разработка даже не была поставлена. Принятые решения привели к приостановке работ по созданию систем переднего обзора, которые отсутствуют до сих пор. Аналогичная ситуация складывается и в настоящее время.

В эти же годы в лаборатории Бовиной Л. А. были начаты разработки фотоприемников типа «Sprite». Позднее эти работы переданы в созданный на основе лабораторий Бовиной Л. А. и Сусова Е. В. отдел Попова С. А., в котором они были доведены до ОКР («Интегратор» и др.). На этих приборах проведены разработки тепловизионных приборов в ГИПО и в НПО «Геофизика». В этом отделе также разработаны многоэлементные фоторезисторы «Невесомость-64» (главный конструктор Попов С. А.), «Невесомость-64ТА» (главный конструктор Смолин О. В.) и другие.

Как отмечалось выше, первоначальным стимулом развития работ по КРТ явилась проблема противоракетной обороны, для которой требовалось создание сверхбыстродействующих фотодиодов для приема излучения CO_2 -лазера на длине волны 10,6 мкм.

После выхода Постановления в 1970 г. нами были предприняты большие усилия по организации разработки технологии выращивания монокристаллов КРТ на предприятиях Министерства Цветной металлургии. Руководство МЦМ пыталось «сплавить» эту проблему на Усть-Каменогорский полиметаллический комбинат, на котором требования чистоты материала выше 99 % просто не понимали. Попытки заставить ГИРЕДМЕТ взять эту разработку наталкивались на активное сопротивление — «ртуть не редкий металл, кадмий не цветной, а теллур вообще не металл, поэтому эта работа к Гиредмету никакого отношения не может иметь». Это сопротивление удалось преодолеть. ГИРЕДМЕТ'у совместно с Законом чистых металлов (ЗЧМ, г. Светловодск на Украине) была поручена разработка технологии и организация производства монокристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ (под руководством Стафеева В. И.). Финансирование проводилось через НИИПФ (НИР «Памир», «Нурек» и др.). В основу технологии положены результаты работ в НИИПФ (Бовина Л. А.), ФТИ АН СССР (Иванов-Омский В. И.), ГИПО и Львовском гос. университете. В курировании работ в МЦМ большую роль сыграли Пономаренко В. П. и Сусов Е. В.

Разработка монокристаллов КРТ для фоторезисторов была успешно проведена и организовано его серийное производство на ЗЧМ в требуемых количествах.

Разработка технологии монокристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ для фотодиодов оказалась намного более сложной проблемой. ЗЧМ с ней не справился. Только в начале 90-х годов ГИРЕДМЕТ смог решить эту проблему и организовать изготовление монокристаллов и эпитаксиальных слоев для фотодиодов (Лакеенков В.М.). Поэтому для обеспечения разработки фотодиодов (НИР «Днепр», «Спартак», ОКР «Дунай» и др.) в начале 70-х годов выращивание монокристаллов и эпитаксиальных слоев пришлось проводить в НИИПФ (Бовина Л. А.).

Фотодиоды с быстродействием до 1 ГГц (ОКР «Дунай») для НПО «Алмаз» разработаны на выращенных в НИИПФ эпитаксиальных слоях. ОКР успешно выполнена и сдана Госкомиссии в 1978 г. На объемных монокристаллах разработаны быстродействующие фотодиоды, в том числе с квадрантным расположением элементов, для систем лазерной связи с быстродействием свыше 300 МГц (НИР «Спартак», «Семафор» и др.).

Разработку корпусов для глубокоохлаждаемых фотоприемников инфракрасного диапазона на основе КРТ провел коллектив конструкторов под руководством Зиновьева В. С.

Для развертывания разработок и организации производства фотоприемников на КРТ в 1976 г. организован филиал НИИПФ в г. Баку (ныне институт Фотозлектроники Национальной Академии наук Азербайджана). ФНИИПФ принял участие в выполнении ОКР «Дунай». Он сыграл большую роль в разработке методов контроля параметров КРТ и фотодиодов. Позднее сотрудниками филиала был разработан и выпускался ряд типов фотоприемников для ряда предприятий.

В 1983 г. произошли известные события. Стафеев В. И. и Бовина Л. А. решением Лебедева В. С. были отстранены от работ по фотоприемникам на основе КРТ. Формально им вместе с небольшой группой сотрудников (Пономаренко В. П. и др.) поручено новое перспективное направление — разработка матричных фотоприемников на КРТ. Для решения этой проблемы на «пустом» месте (во вновь сдаваемом корпусе на площадке «Выхино») пришлось организовать практически «с нуля» коллектив, разработать принципиально новую технологию, новые методы технологического контроля и исследования матричных фотоприемников, создать или приобрести соответствующее технологическое и контрольно-измерительное оборудование, на новых производственных площадях создать технологический участок. Большую положительную роль в решении этих проблем сыграли генеральный директор НПО «Орион» Птицын И. В. и Хряпов В. Т.

Технология матричных фотоприемников качественно отличается от технологии обычных фотоприемников, даже многоэлементных. Матричный фотоприемник включает матрицу фоточувствительных элементов с числом элементов 10^4 — 10^5 , причем каждый из них должен быть состыкован с соответствующим контактом микросхемы считывания и усиления фотосигнала с последующим мультиплексированием. Из холодной зоны фотосигналы выводятся в виде временной последовательности всего по нескольким сигнальным каналам. Поэтому, помимо матрицы фоточувствительных элементов из КРТ, необходимо было разработать матрицу кремниевых ключей и мультиплексоров с низким уровнем шумов, методы их «слепой» стыковки с помощью индиевых столбиков. Для последней операции также пришлось разработать и изготовить специальное технологическое оборудование.

В разработку матричных фотоприемников, помимо Бовиной Л. А., внесли большой вклад Пономаренко В. П., Болтарь К. О., Соляков В. Н., Бурлаков И. Д., Сагинов Л. Д. и др.

Разработка кремниевых мультиплексоров и организация их изготовления проведены коллективом под руководством А. А. Тимофеева, Е. А. Климанова и Акимова В. М. с участием Болтаря К. О. и Солякова В. Н.

К настоящему времени создана технологическая линейка, обеспечивающая разработку и изготовление матричных фотоприемников на спектральные диапазоны 3—5 и 8—12 мкм «смотрящего» типа с числом элементов до 384×288 и форматом до 4×128 и 2×256 элементов для использования в режиме «временной задержки и накопления» в системах с оптико-механическим сканированием. Разработаны методы и изготовлено оборудование для измерения основных параметров и контроля матричных фотоприемников в реальном масштабе времени, в том числе по тепловизионному изображению.

К решению важнейшей и сложнейшей проблемы — разработка и организация производства КРТ и фотоприемников на его основе, были привлечены коллективы многих научных коллективов различных регионов нашей страны.

В Институте физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск) разработано оборудование и технология молекулярной эпитаксии КРТ и созданы первые образцы матричных фотоприемников.

В Нижегородском университете и в институте высокочистых материалов РАН (Нижний Новгород) разрабатывается технология выращивания эпитаксиальных слоев с использованием металло-органических соединений.

Для научного курирования в рамках Совета при Президиуме АН СССР по проблеме «Физика и химия полупроводников» создана секция «Узкозонные полупроводники и полуметаллы» (председатель Курбатов Л. Н., заместитель председателя Стафеев В. И., ученый секретарь Наумова А. Ф.). В состав секции вошли ведущие специалисты Академии Наук СССР, промышленности и вузов многих регионов страны: Москвы, Ленинграда, Казани, Киева, Львова, других городов России, Украины, Азербайджана, Литвы и других республик СССР.

Секция организовала проведение нескольких десятков научных семинаров и школ по основным проблемам выращивания и свойствам монокристаллов, эпитаксиальных слоев и фотоприемников на основе КРТ. Обсуждались как результаты исследования свойств КРТ и фотоприемников, так и проблемы их технологии. Семинары проводились два раза в год в разных городах страны. Секция также приняла под свою эгиду проведение регулярных симпозиумов «Узкозонные полупроводники и полуметаллы», организованные ранее Львовским Госуниверситетом (Савицкий В. Г., Пашковский М. В., Луцив Р. В., Средин В. Г. и др.). Симпозиумы проводились один раз в два года. Всего проведено 27 семинаров и 13 симпозиумов.

Все эти усилия привели не только к созданию нового класса полупроводниковых приборов, но и к созданию крупных научных коллективов во многих научных центрах СССР. Наша страна была выведена на передовые позиции в мире по новому важнейшему научно-техническому направлению. Разработка технологии монокристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ, различных типов фотоприемников, в том числе матричных, на его основе, методов формирования видеосигналов и тепловизионных изображений с их помощью отмечены Государственной премией Российской Федерации 2000 г. Премией отмечены Стафеев В. И. (руководитель коллектива), Бовина Л. А., Болтарь К. О., Гибин И. С., Климанов Е. А., Лакеенков В. М., Пономаренко В. П., Соляков В. Н.

Becoming development and production of the MCT photodetectors in the Research Institute of Applied Physics and in the USSR

V. I. Stafeev

The ORION R&P Association, Moscow, Russia

The evolution of technology and investigations of mercury-cadmium-telluride material, photodetectors and devices in RD&P Center ORION and in former USSR is discussed.