

УДК 621.383.52:546.48'49'.24

**ИССЛЕДОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК
ФОТОДИОДОВ ИЗ $Cd_xHg_{1-x}Te$** **Л. А. Бовина, В. И. Стафеев, К. О. Болтарь**Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,
Москва, Россия**В. М. Лакеенков**

«Гиредмет», Москва, Россия

М. А. Лощинина

НПО «Геофизика», Москва, Россия

Приведены результаты исследований стабильности фотодиодов из КРТ. Проанализированы возможные причины нестабильности. Показана высокая временная и температурная стабильность параметров фотодиодов, изготовленных методом ионного легирования на монокристаллах р-типа проводимости, при температурах хранения до 70 °С.

Фотодиоды из твердого раствора теллуридов кадмия — ртути $Cd_xHg_{1-x}Te$ (КРТ) в последние годы стали основным фоточувствительным элементом совре-

менной инфракрасной техники. Особенно возросла их роль после создания матричных фотоприемников. Однако бытует мнение, что из-за высокой скорости диффузии атомов ртути фотоприемники из КРТ должны быть нестабильны во времени и особенно при хранении при повышенных температурах. Наибольший интерес представляют фотодиоды на спектральный диапазон 8—12 мкм. Поскольку в них концентрация ртути наиболее высокая ($x \sim 0,2$), то в них наиболее четко должна проявляться возможная нестабильность. В связи с этим нами в 1990 г. были поставлены исследования стабильности фотодиодов этого спектрального диапазона.

Возможные причины нестабильности

Стабильность монокристаллов КРТ. Фотодиоды работают при охлаждении до температуры жидкого азота и ниже. Поэтому они подвергаются при каждом включении термоударам с перепадом температуры до 200—250 °С. В зависимости от области применения такие изменения температуры могут происходить за времена от нескольких минут до нескольких секунд. Резкое охлаждение приводит к возникновению внутренних напряжений, которые могут вызывать появление структурных дефектов. Для уменьшения вероятности их появления необходимо использование структурно совершенного материала без включений вторых фаз и без малоугловых границ.

При длительном хранении при повышенных температурах возможно изменение объемных свойств КРТ из-за диффузии ртути, имеющей высокий коэффициент диффузии, а также из-за ухода растворенных в объеме и адсорбированных на поверхности газов.

Нами проведено исследование термостабильности КРТ вплоть до $T = 400$ °С. Методами масс-спектрологии изучался состав выделяющихся из КРТ элементов. Показано, что прогрев в течение нескольких часов до температур 200—250 °С в вакууме приводит только к удалению поверхностных загрязнений. При достаточно хорошей подготовке поверхности эти загрязнения составляют всего 0,02—0,05 моноатомного слоя. При более высоких температурах начинается сказываться диффузия из объема полупроводника таких элементов, как Н, С, О и Нг. Одновременно происходит и перестроение атомов в объеме.

При концентрации носителей порядка 10^{14} см⁻³ прогрев в течение нескольких месяцев при $T = +60$ °С уже приводит к изменению электрофизических характеристик, что может вызвать изменение параметров фотоприемников из такого материала. При концентрациях порядка 10^{16} см⁻³ соответствующие времена во много раз увеличиваются и даже при $T = +70$ °С заметных изменений параметров материала не наблюдается в течение многих лет. Все это относится, естественно, к материалу с высоким структурным совершенством.

Нанесение на поверхность полупроводника хорошей диэлектрической защитной пленки значительно замедляет все деградационные процессы и существенно повышает термостабильность КРТ.

В фотодиодах используется КРТ высокого структурного совершенства и его поверхность тщательно очищается и защищается хорошим диэлектриком. Поэтому деградацию монокристаллов КРТ в фотодиодах при температурах хранения до +70 °С можно не учитывать.

Стабильность легированной p-области p-n-перехода в значительной степени определяется технологией ее создания. В настоящее время наиболее распространенным технологическим методом легирования является имплантация ионов высокой энергии. Концентрация возникающих при этом процессе доноров на-

много больше количества имплантированных ионов из-за образования механо-доноров [1]. Они образуются и при малых энергиях ионов и даже при облучении быстрыми электронами. Степень их термостабильности сильно зависит от энергии ионов.

Стабильность границы раздела поверхности КРТ — диэлектрическая пленка определяется в первую очередь качеством очистки поверхности перед нанесением пленки, от ее качества и состава (наличие пор и загрязнений), от диффузии ртути и примесей из объема КРТ. При рабочих условиях и при хранении последний процесс существенной роли не играет.

Таким образом, стабильность границы раздела полностью определяется совершенством технологических методов и выбором наносимого диэлектрика.

Стабильность поверхности фотодиодов определяется качеством очистки поверхностей криостатирующего баллона. Поскольку фотодиод работает в условиях глубокого охлаждения и в корпусе он находится в самой холодной точке, то во время работы происходит “перекачка” всех “загрязнений” на поверхность фотодиода. Эти “загрязнения” могут существенно увеличивать токи “утечки” и шумы.

Исходный материал

Фотодиоды изготавливались из монокристаллических пластин КРТ состава $x = 0,21$ p -типа проводимости. Монокристаллы КРТ выращивались (Гиредмет) методом перекристаллизации из предварительно синтезированной шихты с непрерывной подпиткой зоны расплава из твердой фазы. Выращенные кристаллы разрезались на пластины, которые подвергались механико-химической обработке и двуступенчатому отжигу в насыщенных парах ртути. Финишная температура отжига 270 °С. Концентрация дырок в пределах $(4 - 8) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвижность около $400 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, плотность дислокаций порядка 10^4 см^{-2} , время жизни неосновных носителей около 100 нс, что соответствует длине диффузионного смещения 80—100 мкм. Включения, выделения вторых фаз и малоугловые границы отсутствуют. Толщина образцов 500—600 мкм.

Фотодиоды изготавливались по разработанной в НПО “Орион” технологии. p - n -переход создавался методом ионного легирования ионами бора с энергией 150 кэВ. Размеры p - n -перехода 75×75 мкм и глубина залегания 0,5 мкм. Размеры фоточувствительной площадки контролировались с точностью 5 мкм. Концентрация носителей с легированием n -области составляла $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Сопротивление при обратном смещении 30 мэВ было в пределах 1—2 МОм при красной границе 11—12 мкм. Образцы находились в атмосфере азота и размещались в стандартном корпусе для малоэлементных фотоприемников с апертурой 60°. Окно изготавливалось из просветленного германия. Все детали корпуса тщательно очищались и обесгаживались. Перед окончательной герметизацией корпус подвергался длительной откачке при подогреве в “чистом” глубоком вакууме.

При изготовлении фотодиодов большое внимание уделялось подготовке и тщательной химической очистке поверхности для максимального исключения механодоноров* и загрязнений. Поверхность защищалась наносимыми в чистом вакууме пленками SiO_2 или Al_2O_3 . Качество границы раздела контролировалось по CV-характеристике.

*Бовина Л. А., Стафеев В. И. и др. Дефекты в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, создаваемые облучением CO_2 -лазера. Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках: Матер. Всес. семинара по проблеме “Физика и химия полупроводников”. — Павлодар: Ромайор, 1987.

Методика исследований

Основным параметром фотоприемника является обнаружительная способность. Фотоприемники дальнего ИК-диапазона спектра работают при глубоком охлаждении. Для фотоприемников на основе КРТ — это температура жидкого азота. Поэтому нами был выбран именно этот параметр для контроля стабильности фотодиодов.

Было проведено три группы исследований:

Термоциклирование — циклическое изменение температуры от $+60$ °С до -60 °С. Проводилось 10 температурных циклов по два цикла в день. Каждый цикл включал двухчасовую выдержку в нерабочем состоянии при упомянутых температурах.

Испытания на воздействие повышенной температуры (режим хранения) состояли в выдержке в нерабочем состоянии в течение 100 ч при $T = +60$ °С и затем при $T = +70$ °С в течение 50 ч. Таких циклов также было проведено три. Таким образом, полное время хранения при $T = +60$ °С составляло 300 ч. и при $T = +70$ °С — 150 ч.

Перед каждым испытанием и после него проводился замер обнаружительной способности при нормальных условиях. Измерения проводились в обычных лабораторных условиях без контроля температуры окружающей среды и фоновой освещенности. По этим причинам наблюдался некоторый разброс значений обнаружительной способности перед началом испытаний.

Исследования временной стабильности нами были начаты в 1990 г. и проводились до настоящего времени. Образцы хранились при комнатной температуре в лабораторном помещении без каких-либо специальных мер защиты. Испытания сводились к периодическим измерениям обнаружительной способности в нормальных условиях.

На исследования было поставлено 8 фотодиодов.

Температурная стабильность

В табл. 1 представлены результаты испытаний 6 фотодиодов на термоциклирование и на выдержку при повышенных температурах $+60$ и $+70$ °С. Проведенные испытания показали, что фотодиоды не ухудшают своих характеристик как при термоударах, так и при длительных выдержках при температуре $+70$ °С. Все измерения проведены в НПО "Геофизика".

Таблица 1
Температурная стабильность обнаружительной способности

$$D^* \lambda_{\max} \cdot (10^{10}) \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$$

			№ фотодиодов						Среднее значение		
			1		2		1			2	
			Термоциклирование $T = 60$ °С ± $T = -60$ °С		Выдержка при $T = +60$ °С, 300 ч		Выдержка при $T = +70$ °С, 150 ч				
Март 1991 г.	До испыт.	D^*_0	5,9	6,0	6,0	7,1	6,6	6,6	6,37		
	После испыт.	D^*/D^*_0	1,08	1,20	1,13	0,93	0,91	1,08	1,06		
Июнь 1991 г.	До испыт.	D^*/D^*_0	1,29	1,17	1,13	1,00	1,08	1,06	1,12		
	После испыт.		1,3	1,2	1,17	0,96	1,26	1,17	1,15		
Август 1991 г.	До испыт.	D^*/D^*_0	1,08	1,30	1,08	0,89	0,98	1,03	1,06		
	После испыт.		1,08	1,29	1,15	0,92	0,97	1,17	1,10		
Среднее значение			1,17	1,23	1,13	0,94	1,04	1,10	1,10		

Среднее значение D^*/D^*_0 по фотодиоду № 1—1,11;
среднее значение D^*/D^*_0 по фотодиоду № 2—1,09.

Временная стабильность

В табл. 2 приведены результаты исследований временной стабильности, проведенные на восьми фотодиодах.

Т а б л и ц а 2

Временная стабильность обнаружительной способности

$$D^* \lambda_{\text{max}} \cdot (10^{10}) \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$$

	10.1990 НИИ ПФ	11. 1990 Геофизика	01.1991	02.1991	03.1991	04.1991	06.1991	08.1991	10.1991
$D^*_{\lambda_{\text{max}}}$	$D_0 = 5,5$	$D^* = 6,1$							
D^*/D_0	1,0	1,11	1,04	1,04	1,10	1,10	1,12	1,07	1,07
	10.1990 НИИ ПФ	11.1990 Геофизика	11.1991	12.1991	03.1992	09.1992	10.1993	03.1995	08.1998 НИИ ПФ
$D^*_{\lambda_{\text{max}}}$	$D_0 = 5,5$	$D^* = 6,1$							
D^*/D_0	1,0	1,11	1,08	1,03	1,08	1,13	1,22	1,22	0,96

Во время всех испытаний максимальное отклонение $\Delta(D^*/D_0)$ в %, $\begin{matrix} -4 \\ +2 \end{matrix}$

В первой графе указано среднее значение обнаружительной способности, измеренное в НПО "Орион" перед передачей в НПО "Геофизика". Во второй графе — значение этого параметра, измеренное в НПО "Геофизика". Некоторое различие может быть связано с различием фоновой обстановки и с различием измерительных установок. Последний замер в августе 1998 г. был сделан в НПО "Орион". Все остальные измерения проведены в НПО "Геофизика".

В других графах приведены значения обнаружительной способности, отнесенной к ее паспортному значению. В последней графе указаны максимальные значения (в %) отклонений измеренных значений обнаружительной способности от паспортного значения.

Проведенные испытания показали, что в пределах точности измерений обнаружительная способность за восемь лет хранения не ухудшилась.

Таким образом, разработанная технология выращивания монокристаллов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (НПО "Гиредмет") и технология фотодиодов (НПО "Орион") обеспечивают возможность создания высокостабильных фотодиодов, выдерживающих длительное хранение при температурах до $+70^\circ\text{C}$.

STUDY OF CdHgTe PHOTODIODES PERFORMANCE STABILITY

L. A. Bovina, V. I. Stafeev, K. O. Boltar

The State Unitary Enterprise "RD&P Centre "Orion", Moscow, Russia

V. M. Lakeenkov

RD&P Centre Giredmet, Moscow, Russia

M. A. Loschinina

RD&P Centre Geophysics, Moscow, Russia

Cadmium Mercury Telluride (MCT) photodiodes stability have been investigated. Possible reasons of instability are analyzed. High temporary and temperature stability at storage temperature up to 70°C of ion implanted in p-type CMT crystals photodiodes is shown.