

РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ ФОТОПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

К.А. АСКЕРОВ

Институт Фотоэлектроники АН Азербайджана
370141, г. Баку, ул. Ф. Агаева, 555 квартал
(Поступило 15.06.96)

Статья посвящена разработке и исследованию радиационной стойкости фотодиодов на основе слоистых соединений GaSe, InSe, GaTe, предназначенных для видимой и ближней ИК-области спектра. Показано, что изменение фоточувствительности фотодиодов при воздействии ионизирующего излучения связано с изменением времени жизни основных носителей заряда. Определена радиационная стойкость исследуемых фотодиодов и выявлена возможность использования их в условиях повышенной радиации.

На современном этапе развития науки одной из важнейших задач является создание фотоприемников в области спектра 0,6-1,1 мкм, работоспособных в условиях повышенной радиации.

Существующие в настоящее время фотоприемники в области спектра 0,6-1,1 мкм не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым по радиационной стойкости фотоэлектронным приборам. С другой стороны, создание фотоприемников на основе не очень дорогостоящих слоистых полупроводников, повышает эффективность, качество приборов и снижает трудоемкость при их изготовлении.

Данная статья посвящена созданию и исследованию радиационной стойкости фотодиодов на основе монокристаллов селенида галлия, селенида индия и теллурида галлия.

Для получения электронно-дырочных переходов были использованы методы сплавления и диффузии компенсирующих элементов олова и золота. Исходные данные используемых монокристаллических образцов селенида галлия, теллурида галлия и селенида индия приведены в таблице 1.

В работе [1] подробно описаны разработки физических основ конструкции и технологии изготовления фотодиодов на основе селенида галлия, селенида индия и теллурида галлия. Исследуемые фотодиоды обладали фоточувствительностью в области спектра 0,45-1,1 мкм с максимумами $\lambda_{\text{GaSe}}=0,63$ мкм, $\lambda_{\text{InSe}}=0,95$ мкм и $\lambda_{\text{GaTe}}=0,85$ мкм при комнатной температуре, а также сравнительно повышенными фотоэлектрическими параметрами.

Таблица 1.

Наименование параметров	Полупроводниковые материалы		
	GaSe	GaTe	InSe
Тип электропроводности при 300 К	p	p	n
Толщина образца, мкм	100-500	100-500	100-500
Концентрация носителей заряда при 300 К, см ⁻³	10 ¹⁵ -10 ¹⁴	10 ¹⁵ -10 ¹⁴	10 ¹⁴ -10 ¹⁵
Подвижность основных носителей заряда при 300 К, см ² /В·с	30-450	40-600	200-1200
Удельное сопротивление, Ом·см	10-10 ³	10-10 ³	10-10 ²
Ширина запрещенной зоны, эВ	1,95	1,45	1,24
Поверхность	подгонки не требует		

Таблица 2

Фотодиоды	Условия эксплуатации фотодиода			I, мкА	S _{вот} , А/Вт	I _{ср} , В/Вт	I _{наср} , мА/лм	R, Ом
	U _{см} , В	λ_{max} , мкм	T, К					
Sn-p-GaSe	3	0,63	300	0,03	0,5-1,84	(2,1-4,1)·10 ⁴	10-20	10 ⁷
	5	0,55	300	0,04	0,3-0,80	(1,4-3,0)·10 ⁴	3-15	
Au-n-InSe	3	0,95	300	0,04	0,1-4,0	(1,3-7,1)·10 ⁴	10-20	10 ⁵ -10 ⁶
	3	0,95	263	0,04	0,3-9,2	(2,9-9,1)·10 ⁴	15-25	
Sn-p-GaTe	3	0,85	300	0,05	0,3-1,5	(1,0-3,3)·10 ⁴	3-10	10 ⁵ -10 ⁷
	5	0,85	300	0,05	0,5-2,2	(1,5-4,5)·10 ⁴	5-12	

Основные характеристические параметры таких фотодиодов приведены в таблице 2.

До, после и в процессе облучения низкоэнергетическим электронами с энергией 6 МэВ (флюенсом $10^{12}+10^{16}$ см⁻²) и гамма-квантами (флюенс-

сом 10^5+10^8 Р), высокоэнергетическими электронами с энергией 25 МэВ (флюенсом $10^{12}+10^{16}$ см $^{-2}$), протонами (флюенсом $10^{12}+10^{14}$ см $^{-2}$), нейтронами ($10^{11}+10^{14}$ см $^{-2}$) измерялись вольт-амперные, спектральные характеристики фотодиодов на основе селенида галлия, селенида индия и теллурида галлия. При этом контролировались изменения монохроматической, интегральной и вольт-ваттной чувствительности фотодиодов. Кроме того, определены времена потери работоспособности фотодиодов в процессе импульсного гамма-нейтронного и импульсного гамма облучения по восстановленным значениям напряжений сигнала и шума. При воздействии проникающей радиации возникает широкий диапазон изменений параметров фотодиодов вследствие изменения характеристик полупроводниковых материалов [1]. Анализ ВАХ прямосмещенных фотодиодов, облученных различными частицами показывает, что с ростом флюенса облучения токи прямых и обратных ветвей ВАХ увеличиваются, при этом коэффициент качества β резко возрастает ($2 \leq \beta \leq 5$), что можно связать с образованием поверхностных каналов проводимости. Увеличение темновых токов, связано с возрастанием токов за счет ионизационных эффектов в объеме фотодиода.

На основании измерений спектральных характеристик фотодиодов до и после различных видов ионизирующих излучений установлено, что изменение фоточувствительности фотодиодов на основе GaSe, InSe и GeTe носит одинаковый характер: при малых флюенсах облучения фоточувствительность увеличивается, а большие флюенсы приводят к уменьшению фоточувствительности.

С целью изучения причины изменения фоточувствительности фотодиодов, измерены времена жизни основных носителей тока после облучения электронами с энергией 25 МэВ, импульсными нейтронами и гамма-квантами. Установлено, что с увеличением интегрального флюенса электронов с энергией 25 МэВ и импульсных нейтронов время спада фототока монотонно уменьшается, а низкоэнергетическое облучение приводит к росту времени спада фототока. Поэтому можно предположить, что изменение времени жизни - это один из основных факторов, ответственных за изменение фоточувствительности облученных фотодиодов.

В процессе проведения исследований на импульсной гамма установке и на импульсном реакторе снимались осциллограммы изменения напряжения сигнала

и напряжения шумов по двум каналам с двух фотодиодов одновременно для определения времени потери работоспособности. В результате измерений на импульсной гамма установке при эффективной длительности импульса $\tau=10,3-10,9$ нс по значению U_c при мощности $P_f=1,7 \cdot 10^{10}$ Р/с время потери работоспособности фотодиодов на основе исследуемых соединений составляет $\tau_{exp} \leq 1,0$ с, а по значению U_n при мощности $P_f=3,08 \cdot 10^{10}$ Р/с, составляет $\tau_{exp} \leq 0,05$ с. В результате измерений на импульсном реакторе найдены следующие величины для τ_{exp} : при флюенсе нейтронов $\Phi_n=3,08 \cdot 10^{12}$ см $^{-2}$, $\tau_{exp} \leq 1,8$ с по восстановлению U_c , а по восстановлению U_n при флюенсе нейтронов $\Phi_n=3,35 \cdot 10^{12}$ см $^{-2}$, $\tau_{exp} \leq 0,01$ с. Через 6-11 суток после облучения на этих же фотодиодах снималось спектральное распределение чувствительности. После облучения при малых флюенсах их чувствительность увеличивается и максимум ее сдвигается в длинноволновую область спектра. Соответственно, увеличивается их монохроматическая и вольт-ваттная чувствительность, примерно в 2-3 раза. С другой стороны, не исключается возможность того, что при малых флюенсах облучения может происходить, в основном, перераспределение примесей золота и олова [2], вследствие чего получается более совершенный и стабильный p-n переход и фоточувствительность фотодиодов увеличивается.

Низкие энергетические барьеры, существующие в межслойном промежутке слоистых материалов благоприятствуют миграции радиационных дефектов с ростом флюенса облучения. Это, в свою очередь, облегчает процесс образования комплексов из радиационных и исходных дефектов в межслойных промежутках. Вследствие этого происходит образование новой высокоомной прослойки, приводящей к некоторому ухудшению фотоэлектрических параметров с ростом флюенса облучения. Следует отметить, что при воздействии ионизирующих излучений в указанных выше интервалах флюенсов на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе GaSe, InSe, GaTe изменение значений основных характеристических параметров не превышает 30%. Результаты проведенных исследований показывают, что фотоприемники на основе слоистых соединений GaSe, InSe, GaTe открывают возможность их использования в системах, работающих в видимой и ближней ИК-области спектра, в частности, в астронавигации.

[1] К.А. Аскеров, Ф.К. Исаев, Д.Г. Амиров. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках, Баку, 1991, с. 126.

[2] H. Saito, I.C. Rigg, I.H. Granford. Phys. Rev., 1966, 144, p. 725.

К.Ə. Əsgarov

LAYLI YARIMKEÇİRİCİLƏR ƏSASINDA RADİASİYAYA DAVAMLI FOTOQƏBULEDİCİLƏR

Məqalə yaxın görünən infraqırmızı spektr sahəsində işləyən laylı GaSe, InSe, GaTe birləşmələri əsasında fotodiodların hazırlanmasına və onların radiasiyaya davamlılığının tədqiqinə həsr edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, ionlaşdırıcı şüaların təsiri zamanı fotodiodların fotohəssaslığının dəyişməsi yükdaşıyıcıların yaşama müddətinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Tədqiq edilən fotodiodların radiasiyaya davamlılığı təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, bu fotodiodlardan yüksək radiasiya şəraitində istifadə etmək olar.

К.А. Askerov

RADIATION-RESISTANT PHOTORECEIVERS ON THE BASE OF LAYERED SEMICONDUCTORS

The paper deals with a development and investigations of radiation-resistant photodiodes on the base of layered compounds of GaSe, InSe, GaTe intended for operating in visible and near infra-red region of spectrum. It is shown that changes in photosensitivity of photodiodes under ionizing radiation are connected with the changes on the majority charge carriers lifetime. Radiation resistivity of photodiodes are determined and possibilities of their application under the conditions of high penetrating radiation has been established.

Редактор: Т.Р. Мехмиев