

комплексов из радиационных и исходных дефектов межслойных промежутков. Вследствие этого происходит образование новой высокоомной прослойки, приводящий 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 и GaTe изменение значений основных характеристических параметров не превышает 30 %.

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что фотоприемники на основе слоистых

соединений GaSe, InSe и GaTe открывают возможность их использования в системах, работающих в видимой и ближней ИК-областях спектра, в частности, в астронавигации.

Литература

1. Болтакс Б. И. Диффузия в полупроводниках. — М.: Наука, 1961. — 462 с.
2. Аскеров К. А., Исаев Ф. К., Амиров Д. Г. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках. — Баку, 1991. — 126 с.
3. Косенко В. Е. Диффузия сурьмы и цинка из паровой фазы в германии// Известия АН СССР. Сер. физ. 1956. Т. 20. № 12. С. 1526—1530.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Radiation-resistant photodetectors for the 0.35—1.1 μm area

D. Sh. Abdinov, K. A. Askerov, V. I. Gadzhieva
Institute of Physics, Baku, Azerbaijan

M. G. Bektashi
Spark Factory, Baku, Azerbaijan

The article is devoted to development and research of radiating stability of photodiodes on the basis of layered compounds. These devices are intended for the visible and near IR area of a spectrum. Processes of diffusion of various impurities in such layered semiconductors are considered.

УДК 621.315.592

Влияние ионизирующих излучений на фотодиоды с термоэлектрическим охладителем на основе селенида индия

К. А. Аскеров, В. И. Гаджиева, Д. Ш. Абдинов
Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Исследовалось влияние имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе селенида индия. Установлено, что импульсное гамма-излучение и импульсное нейтронное облучение приводят к улучшению фотоэлектрических характеристик исследуемых фотодиодов. Показано, что большие флюенсы нейтронного облучения облегчают процесс образования комплексов в межслойном промежутке слоистого селенида индия, вследствие чего несколько ухудшаются фотоэлектрические параметры фотодиодов.

Введение

Разработка и изготовление радиационно-стойких фотоприемников на основе слоистых соединений для ближней ИК-области спектра представляют определенный научно-практический интерес. Учитывая это, в данной работе исследовано влияние имитирующих факторов ядерного взрыва и протонного облучения на фотоэлектрические

свойства фотодиодов на основе селенида индия, охлаждаемого термоэлектрическим охладителем (ТЭО).

Экспериментальные исследования

Исследуемые фотоприемники с ТЭО были подвергнуты следующим ионизирующим излучениям: на воздействие поражающих факторов ядерного взрыва с уровнем нейтронов с энергией

$> 0,1$ МэВ и флюэнсом $6,39 \cdot 10^{12}$ см⁻² и импульсно-го гамма-излучения мощностью $4,1 \cdot 10^{10}$ Р/с;

на воздействие нейтронного излучения с флюэнсом $1,2 \cdot 10^{14}$ см⁻².

Корпус двухкаскадного ТЭО мощностью 4,5 Вт изготовлен из ковара и снабжен герметичными выводами для питания ТЭО и снятия сигнала от диодных структур Au—InSe, а также герметичным колпачком с прозрачным в диапазоне 0,5—1,5 мкм окном.

До, после и в процессе облучения на полученных фотодиодах с ТЭО измерялись вольт-амперные характеристики (ВАХ), спектральное распределение чувствительности, напряжения сигнала и шума. Измерения в процессе облучения на импульсной гамма-установке и гамма-нейтронном реакторе проводили с помощью специально разработанной универсальной установки, рассмотренной в работе [1], предназначенной для дистанционных и автоматизированных измерений параметров фотодиодов. Характеристические параметры Au—InSe до, после и в процессе облучения измеряли в режиме, когда фотодиоды охлаждали с помощью ТЭО до ~ 263 К.

Регистрация сигнала при измерении спектральных характеристик фотодиодов проводилась по стандартной методике с помощью монохроматора МДР-4 при напряжении смещения на фотодиоде, равном ± 3 В.

В процессе измерений на импульсной гамма-установке и импульсном реакторе фиксировались осциллограммы для регистрации изменения напряжения сигнала U_{sig} и напряжения шумов U_{noise} по двум каналам одновременно с двух одинаковых структур Au—InSe. По восстановлению U_{sig} и U_{noise} определяли время потери работоспособности τ_{loss} фотодиодов. Установлено, что на импульсной гамма-установке при длительности импульса $\tau_\gamma = 10,3—10,9$ нс время потери работоспособности фотодиодов по регистрации снятых одновременно измерений U_{sig} и U_{noise} составляло: $\tau_{loss} \leq 1,0$ с при мощности $P_\gamma = 1,7 \cdot 10^{10}$ Р/с по восстановлению значений U_{sig} ; $\tau_{loss} \leq 0,05$ с при мощности гамма-квантов $P_\gamma = 3,08 \cdot 10^{10}$ Р/с по восстановлению значений U_{noise} .

Аналогичное измерение проводили на импульсном реакторе, при этом значение времени потери работоспособности составляло при флюэнсе нейтронов $\Phi_{neut} = 3,08 \cdot 10^{12}$ см⁻², по восстановлению напряжения сигнала U_{sig} — $\tau_{loss} \leq 1,7$ с; по восстановлению U_{noise} при флюэнсе нейтронов $\Phi_{neut} = 3,35 \cdot 10^{12}$ см⁻² — $\tau_{loss} \leq 0,01$ с.

Таким образом, с учетом результатов проведенных исследований среднее значение времени потери работоспособности фотодиодов на основе

селенида индия с ТЭО в условиях гамма- и импульсного нейтронного облучения составляет: $\tau_{loss} \leq 1,7$ с по восстановлению U_{sig} ; $\tau_{loss} \leq 0,05$ с по восстановлению значений напряжения шумов U_{noise} , при суммарном флюэнсе нейтронов $\Phi_{neut} = 6,39 \cdot 10^{12}$ см⁻² и максимальной мощности $P_\gamma = 4,15 \cdot 10^{10}$ Р/с.

Результаты показывают, что значения времени потери работоспособности, определенные по изменениям U_{sig} и U_{noise} сильно отличаются друг от друга.

На рис. 1, а показано спектральное распределение чувствительности фотодиодов на основе селенида индия с ТЭО через 10 сут после импульсного гамма- и импульсного гамма-нейтронного облучения.

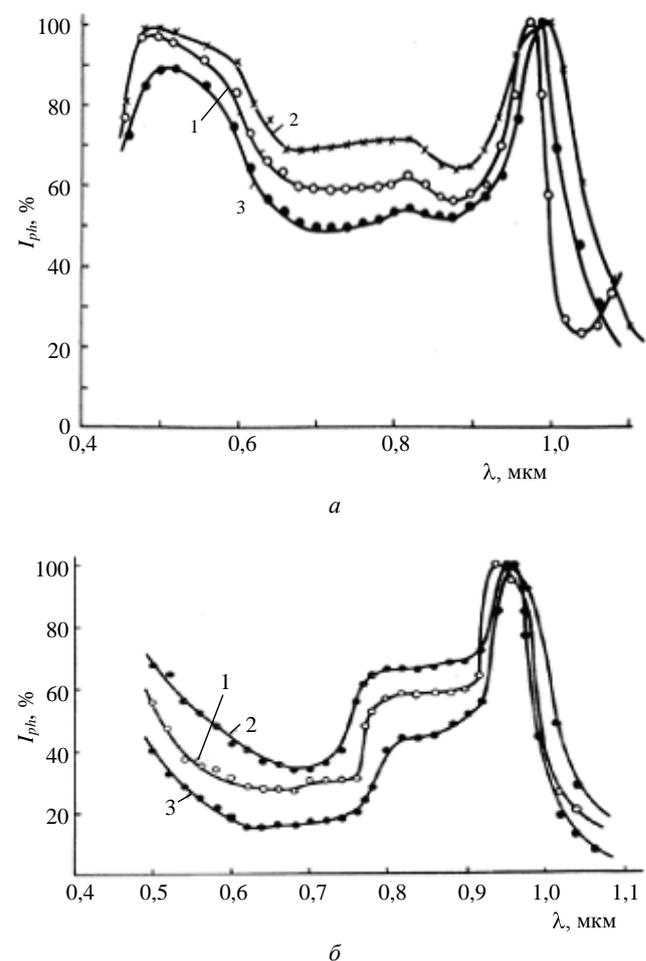


Рис. 1. Спектральное распределение фоточувствительности фотодиодов с ТЭО:

а — после импульсного гамма- и импульсного реакторного облучения:

1 — до облучения; 2 — $6,3 \cdot 10^{12}$ см⁻²; 3 — $1,2 \cdot 10^{14}$ см⁻²;

б — без включения ТЭО при комнатной температуре:

1 — до облучения; 2 — $3,5 \cdot 10^{12}$ см⁻²; 3 — $1,2 \cdot 10^{14}$ см⁻²

Как видно из рис. 1, после облучения гамма-квантами мощностью $P_\gamma = 4,15 \cdot 10^{10}$ Р/с и импульсных нейтронов флюэнсом $\Phi_{neut} = 6,39 \cdot 10^{12}$ см⁻² фо-

точувствительность во всей области спектра несколько увеличивается (см. рис. 1, а, кривая 2). Следующий флюенс нейтронов $\Phi_{neut} = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ приводит к уменьшению фоточувствительности фотодиодов с ТЭО не более чем на 30 % (см. рис. 1, а, кривая 3). Аналогичная картина наблюдается без включения ТЭО, т. е. при комнатной температуре (см. рис. 1, б).

Следует отметить, что в обоих случаях несколько сдвигается максимум спектральной характеристики в сторону длинноволновой области спектра. Расчетные значения абсолютной величины фоточувствительности фотодиодов при максимуме спектральной характеристики ($\lambda_{max} = 0,95 \text{ мкм}$) изменяются в интервале 0,2—4,0 А/Вт, при этом вольт-ваттная чувствительность составляет $(2,9—9,1) \cdot 10^4 \text{ В/Вт}$. С ростом флюенсов облучения указанные выше значения уменьшаются не более чем на ~30 %. Одновременно в фотодиодах растет значение дифференциального сопротивления.

Результаты измерений указанных параметров исследуемых фотодиодов с ТЭО при напряжении $\pm 3 \text{ В}$ до и после облучения приведены в таблице.

| Параметры фотодиодов | До облучения | Импульсное гамма- и импульсное нейтронное облучения $\Phi_{neut} = 6,39 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, $P_\gamma = 4,1 \cdot 10^{10} \text{ P/c}$ | До облучения | Нейтронное облучение $1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ |
|----------------------------|------------------|---|------------------|---|
| $S_{\lambda_{max}}$, А/Вт | 2,8 | 2,2 | 3,2 | 2,9 |
| J , В/Вт | $8,5 \cdot 10^4$ | $9,5 \cdot 10^4$ | $7,5 \cdot 10^4$ | $6,8 \cdot 10^4$ |
| J_γ , мА/лм | 22 | 28 | 22,5 | 20,5 |

Как видно из таблицы, значения монохроматической и вольт-ваттной чувствительности фотодиодов с ТЭО на основе селенида индия после воздействия указанных факторов несколько увеличиваются, что указывает на возможность использования этих фотодиодов с ТЭО в условиях повышенной радиации.

Было исследовано также влияние изохронного отжига продолжительностью 30 мин на фотоэлектрические свойства облученных фотодиодных структур Au—InSe. Выяснено, что после этого отжига в интервале 70—130 °С (с шагом 20 град) фотоэлектрические параметры исследуемых диодных структур восстанавливаются.

Установлено, что дефекты, вводимые облучением, являются нестабильными, они исчезают за одну стадию изохронного отжига. В результате облучения практически не наблюдалось изменений в конструкции и конструкционных материалах фотодиодов, а также в параметрах ТЭО.

Вольт-амперные характеристики фотодиодов с ТЭО до и после облучения гамма и гамма-нейтронного импульса представлены на рис. 2, из которого видно, что после облучения выпрямляющие свойства диодной структуры сохраняются, хотя коэффициент выпрямления уменьшается

за счет преимущественного увеличения обратных токов. При этом величина диффузионного потенциала тоже уменьшается и составляет 0,45—0,55 В, соответственно.

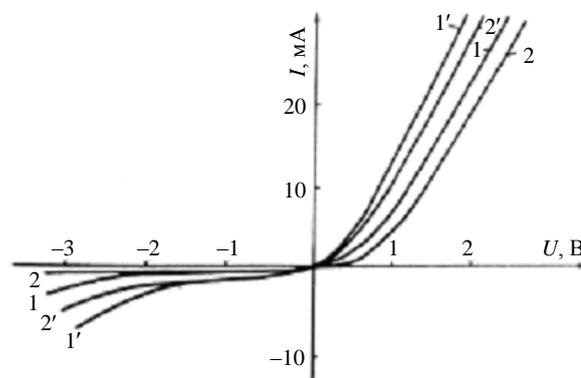


Рис. 2. ВАХ фотодиодов с ТЭО после импульсного гамма- и гамма-нейтронного облучения:

1 — без включения ТЭО; 2 — в рабочем режиме ТЭО; 1, 2 — до облучения; 1', 2' — после облучения $6,39 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$; $4,15 \cdot 10^{10} \text{ P/c}$

Предполагается, что при малых флюенсах облучения происходит в основном перераспределение примесей золота [2], вследствие чего получается более совершенный и стабильный p-n-переход, и фоточувствительность структуры увеличивается.

Невысокие по сравнению со слоем энергетические барьеры, существующие в межслойном промежутке слоистого кристалла InSe, благоприятствуют миграции радиационных дефектов с ростом флюенсов 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 некоторой деградации фотоэлектрических параметров структур Au—InSe. В результате изохронного отжига происходит постепенная рекомбинация радиационных дефектов, вследствие чего фотоэлектрические параметры фотодиодов восстанавливаются. Последнее подтверждается измерениями эффекта Холла и электропроводности монокристаллов селенида индия. На основании результатов проведенных исследований можно рекомендовать фотоприемники из InSe для работы в условиях повышенной радиации.

Заключение

Проведенные исследования показали, что импульсное гамма-излучение и импульсное нейтронное облучение приводят к улучшению фотоэлектрических характеристик фотодиодов на основе селенида индия.

Л и т е р а т у р а

1. Аскеров К. А., Исаев Ф. К., Амиров Д. Г. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках. — Азербайджан, 1991. — 126 с.
2. Saito H., Rigg J. C., Granford J. H. // Phys. Rev. 1996. № 144. P. 725.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Influence of ionizing radiations on photodiodes with thermoelectric cooler on the basis of indium selenide

K. A. Askerov, V. I. Gadzhieva, D. Sh. Abdinov

Institute of Physics of National Academy of Sciences of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan

Influence of simulating factors of nuclear explosion and proton irradiation on photoelectric properties of photodiodes on the basis of indium selenide have been investigated. It is established, that pulse gamma irradiation and a pulse neutron irradiation results in improvement of photoelectric characteristics of researched photodiodes. It is shown, that big fluences of the neutron irradiation facilitate process of formation of complexes in an interlaminar space of the layered indium selenide, and as a result photoelectric parameters of photodiodes a little worsen.

УДК 621.315.592

Параметры центров рекомбинации структур InGaN/AlGaIn/GaN с люминофорным покрытием

Н. С. Грушко, А. С. Хайрулина

Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

В белых светодиодах (фирма Foryard Optoelectronics) на основе p-n-гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN с тонким активным слоем InGaN и верхним люминофорным покрытием (алюмоиттриевый гранат, активированный церием), полученных на подложке из Al₂O₃, определены параметры центров рекомбинации по приведенной скорости рекомбинации R_{red} : энергии активации и коэффициенты захвата. Установлен диапазон изменения концентрации глубоких уровней N_{dep} и вероятности туннелирования в интервале изменения напряжения 1—2 В.

Введение

На основе структур InGaN/AlGaIn/GaN с тонким активным слоем InGaN созданы светодиоды (СД) для фиолетовой, синей, голубой и зеленой частей видимого спектра с внешним квантовым выходом до 15 %. Светодиоды синего свечения используются для создания светодиодов белого свечения. Их можно использовать в светофорах, видеозаписывающих устройствах, полноцветных табло. Белые СД конкурентоспособны с лампами накаливания, так как обладают большей светоотдачей и сроком службы, большим 10^5 ч непрерывной работы. Они используются в полиграфии. КПД белых СД с

люминофорным покрытием достигает 40 % [1, 2]. Однако влияние дефектов на основные параметры не выяснено до сих пор. Ведется поиск путей повышения яркости СД, возможности использования их в других областях и приборах. Реальное положение дел определяется дефектами в GaN-структурах, плотностью дислокаций между подложкой и пленкой и т. д. Невыясненные вопросы затрудняют работу над улучшением параметров приборов.

Благодаря однодолинной структуре нижней зоны проводимости нитридные структуры InGaN/AlGaIn/GaN могут создать конкуренцию материалам GaAs/AlGaAs в приборах с попереч-