

ВЛИЯНИЕ γ -КВАНТОВ НА ПРИМЕСНУЮ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$

Л.Г. ГАСАНОВА, А.З. АБАСОВА

Бакинский Государственный Университет, AZ 1148, Баку, ул. З. Халилова, 23

**e-mail: ludmilahasanova@mail.ru*

Экспериментально исследовано влияние γ -квантов на примесную люминесценцию в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. В качестве источника возбуждения использовался гелий-кадмиевый лазер ($\lambda=0,3716$ мкм). Исследованы температурные зависимости интенсивности люминесценции до и после облучения, а также спектры фотолюминесценции при различных дозах облучения. Было показано, что излучение в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ возникает в результате рекомбинации неравновесных электронов с дырками на локальных уровнях $E_c=0,55$ эВ и $E_c=1,05$ эВ, а также, что за пик при 1,05 эВ ответственны междоузельные атомы, а за фотолюминесценцию при 0,55 эВ ответственны вакансии.

Ключевые слова: $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$, фотолюминесценция, γ -облучение.

PACS: 71.55.-i, 78.70

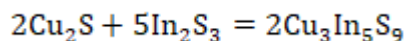
1. ВВЕДЕНИЕ

Алмазоподобные полупроводники завоевали широкую известность благодаря сочетанию ряда важных свойств – высокой подвижности носителей тока, фотоэлектрических и термоэлектрических свойств. Одновременно с изучением полупроводниковых соединений с нормальной структурой типа сфалерита и вюрцита, проводятся изучения соединений с дефектной структурой.

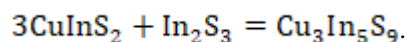
Одними из этих полупроводников являются соединения типа $A_2^I B_5^{III} C_5^{VI}$ [1]. В данной работе рассматривается влияние γ -квантов на примесную люминесценцию $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Это соединение привлекает внимание тем, что из-за большого количества атомов халькогена, имеет n-тип проводимости, коэффициент оптического поглощения в пределах спектрального диапазона солнечного излучения достигает больших значений, что обеспечивает высокую поглощающую способность падающего излучения в тонких пленках на основе $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Кроме этого благодаря большому количеству дефектов $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ обладает высокой радиационной стойкостью.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследуемое соединение было синтезировано из лигатур. Реакцию образования соединения $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ можно описать следующими реакциями:



либо



Обычно синтез двойных и тройных соединений халькогенидов, характеризуется высоким давлением паров халькогенидов и эндотермической реакцией которые приводят к резкому увеличению температуры при бурном протекании реакции и сильным взаимодействием их с кислородом. Поэтому при синтезе принимались меры предосторожности.

рожности.

Монокристаллы $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ выращивались методом медленного охлаждения. Преимущество метода медленного охлаждения заключается в том, что в данном случае ни печь, ни ампула не движутся, а изменяется только питающий печь ток. Таким образом, применение метода медленного охлаждения при постоянном температурном градиенте, устраняет механические колебания.

Применяемые методы позволяли получить крупные совершенные монокристаллы, обладающие металлическим блеском и слоистой структурой. Установлено, что кристаллы $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ имеют моноклинную структуру с параметрами $a=6,60$; $b=6,96$; $c=8,12$ Å; $\beta=89^\circ$; $z=1$. Исследовались монокристаллические образцы, сколотые из монокристаллической слитки $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Для возбуждения использовался гелий-кадмиевый лазер ($\lambda=0,3716$ мкм).

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Как известно, люминесцентное излучение возникает в том случае, когда процессы рекомбинации или захвата неравновесных носителей, играющие важную роль в фотопроводимости, являются излучательными. Поэтому изучение явления фотолюминесценции, может дать полезную информацию о важных особенностях механизма фотопроводимости. Несомненно, совместные исследования люминесценции и фотопроводимости играют важную роль в выяснении природы центров излучения, в определении их параметров, а также их роль в процессах рекомбинации неравновесных носителей заряда.

В необлученных кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ и при малых дозах облучения, наблюдались интенсивные полосы в длинноволновой области при энергиях 0,55 и 1,05 эВ. Анализ полученных данных показывает, что излучение в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ возникает в результате рекомбинации неравновесных электронов с дырками на локальных уровнях $E_c=0,55$ эВ и $E_c=1,05$ эВ.

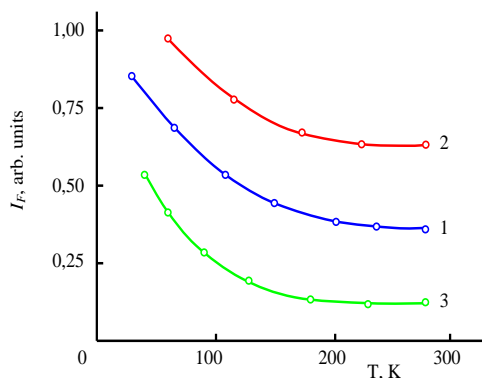


Рис. 1. Температурные зависимости интенсивности люминесценции до и после облучения.

При облучении дозой до 30 крад, интенсивность полосы люминесценции фактически не изменяется и остается такой же, как и для необлученных образцов. При этом интенсивность экспоненциально уменьшается с ростом температуры (рис. 1). При облучении дозой 50 крад, интенсив-

ность полос люминесценции увеличивается (рис. 1, кр. 2). С увеличением температуры их интенсивность уменьшается так же, как и для необлученных образцов. А при высоких дозах облучения (100 крад), интенсивность полос при 77 К уменьшается. При этом спад линии интенсивности с увеличением температуры уменьшается.

Таким образом, получено следующее: с ростом дозы облучения, сначала интенсивность полос люминесценции возрастает, а при высоких уменьшается. Это обусловлено изменением зарядового состояния уровней и образованием радиационного дефекта с донорным характером. Облучение образцов гамма-квантами приводит к образованию мелких донорных уровней прилипания с энергией 0,23 эВ, компенсирующих глубокие акцепторные уровни, являющихся очувствляющими центрами рекомбинации (r -центрами), что приводит к увеличению фоточувствительности и усилению связанной с r -центрами люминесценции [2].

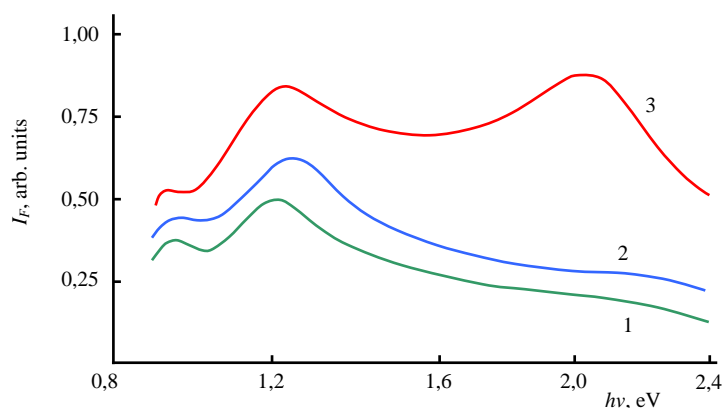


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции в облученных кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. 1 – до облучения; 2 – 30 крад; 3 – 100 крад.

Экспериментальные результаты исследований фотолюминесценции в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ показали, что излучательные переходы на донорные уровни совершаются из зоны проводимости (коротковолновая составляющая) и с акцепторный уровней внутри донорно-акцепторной пары (длинноволновая составляющая), что зависит от температуры и дозы облучения. Исходя из этого, можно сказать, что центр чувствительности в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ является сложным образованием, в состав которого входят неконтролируемые примеси и собственные дефекты, что принципиально не отличается от аналогов. Быстрые (безизлучательные) центры рекомбинации связаны с комплексами, включающими неконтролируемые и ближайшие вакансии в подрешетке кристалла.

На рисунке 2, показаны спектры фотолюминесценции необлученных и облученных кристаллов $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$. Предполагается, что за пик при 1,05 эВ ответственны междоузельные атомы, количество которых экспоненциально возрастает с ростом облучения, а за фотолюминесценцию при 0,55 эВ ответственны вакансии.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что облучение образцов гамма-квантами приводит к образованию мелких донорных уровней прилипания с энергией 0,23 эВ, компенсирующих глубокие акцепторные уровни, являющихся очувствляющими центрами рекомбинации (r -центрами). Экспериментальные результаты показали, что излучательные переходы зависят от температуры и дозы облучения. Поэтому, можно сказать, что центр чувствительности в кристаллах $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ является сложным образованием, в состав которого входят неконтролируемые примеси и собственные дефекты. Быстрые (безизлучательные) центры рекомбинации связаны с комплексами, включающими неконтролируемые и ближайшие вакансии в подрешетке кристалла. Предполагается, что за пик при 1,05 эВ ответственны междоузельные атомы, количество которых экспоненциально возрастает с ростом облучения, а за фотолюминесценцию при 0,55 эВ ответственны вакансии.

- [1] *В.И. Тагиров, Н.Ф. Гахраманов, А.Г. Гусейнов.* Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа $A_3B_5^{III}C_9^{VI}$.: Баку, 2001, 303 с. ках.: Киев, 1981, 264 с.
- [2] *В.Е. Лашкарев, А.В. Любченко, М.К. Шейнкман* Неравновесные процессы в фотопроводни- [3] *А. Роуз.* Основы теории фотопроводимости.: Мир, 1966, 192 с.

L.H. Həsənova, A.Z. Abasova

Cu₃In₅S₉ KRİSTALLARIN AŞQAR LÜMINESSENSİYASINA γ -KVANTLARIN TƏSİRİ

Təcrübi olaraq γ -kvantın Cu₃In₅S₉ kristallarında aşqar lüminessensiyaya təsiri tədqiq edilmişdir. Həyəcanlaşdırıcı mənbə kimi helium-kadmium lazerindən ($\lambda=0,3716 \mu\text{m}$) istifadə edilmişdir. Şüalanmadan əvvəl və sonra lüminessensiyanın intensivliyinin temperaturdan asılılıqları, həmçinin müxtəlif şüalanma dozalarında fotolüminessensiya spektrləri tədqiq edilmişdir. Cu₃In₅S₉ kristallarında şüalanma tarazlıqda olmayan elektronların dəşiklərlə rekombinasiyası $E_c=0,55 \text{ eV}$ və $E_c=1,05 \text{ eV}$ lokal səviyyələrdə yaranır və 1,05 eV-də pikinə düyünlərarası atomlar, 0,55 eV-da olan fotolüminessensiyaya vakansiyaların cavabdeh olduğu göstərilmişdir.

L.G. Hasanova, A.Z. Abasova

INFLUENCE OF γ -QUANTA ON THE IMPURITY LUMINESCENCE OF Cu₃In₅S₉

The effect of γ rays on impurity luminescence in Cu₃In₅S₉ crystals has been experimentally studied. A helium-cadmium laser ($\lambda=0.3716 \mu\text{m}$) was used as an excitation source. The temperature dependences of the luminescence intensity before and after irradiation, as well as the photoluminescence spectra at different irradiation doses, were studied. It was shown that radiation in Cu₃In₅S₉ crystals arises as a result of the recombination of nonequilibrium electrons with holes at local levels $E_c=0.55 \text{ eV}$ and $E_c=1.05 \text{ eV}$, and also that interstitial atoms are responsible for the peak at 1.05 eV, and photoluminescence at 0.55 eV is due to vacancies.