

ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ Г-КВАНТОВ В КРИСТАЛЛАХ ТИПА $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$

Вердиева Н.А.

Email: Verdieva6115@scientifictext.ru

*Вердиева Нурана Алишир кызы – диссертант,
кафедра физики,
Гянджинский государственный университет,
г. Гянджа, Азербайджанская Республика*

Аннотация: проведенные исследования показывают, что соединения типа чувствительны к излучению γ -квантами, и ряд физических свойств их можно контролировать таким образом. Установлено, что при облучении кристалла $TlInSe_2$ γ -квантами происходят радиационно-стимулирующие процессы в результате активации миграции специфических дефектов. Управление этими процессами позволяет целенаправленно изменять электрические параметры кристаллов. Облучение атомами редкоземельных элементов и γ -квантами, добавляемыми в твердый кристалл раствора $TlInSe_2$, резко влияет как на численное значение теплопроводности вещества, так и на его температурную зависимость. При низких температурах в теплопроводности участвуют акустические, а при относительно высоких - оптические фононы.

Ключевые слова: монокристалл, имплантация, гамма-кванты, уровни энергии, интенсивность энергии, эффекты излучения, мощность излучения, быстрые частицы.

EFFECTS ARISING FROM THE INTERACTION OF GAMMA QUANTA IN CRYSTALS OF TYPE $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$

Verdieva N.A.

*Verdieva Nurana Alishir kyzy – Dissertation,
DEPARTMENT OF PHYSICS,
GANJA STATE UNIVERSITY,
GANJA, REPUBLIC OF AZERBAIJAN*

Abstract: the conducted studies show that compounds of this type are sensitive to gamma-ray radiation, and a number of their physical properties can be controlled in this way. It is established that radiation-stimulating processes occur as a result of activation of migration of specific defects when the crystal is irradiated with $TlInSe_2$ gamma-quanta. The control of these processes allows you to purposefully change the electrical parameters of the crystals. Irradiation with rare-earth element atoms and gamma-quanta added to the solid crystal of the $TlInSe_2$ solution dramatically affects both the numerical value of the thermal conductivity of the substance and its temperature dependence. At low temperatures, acoustic phonons participate in thermal conductivity, and at relatively high temperatures, optical phonons participate.

Keywords: single crystal, implantation, gamma quanta, energy levels, energy intensity, radiation effects, radiation power, fast particles.

В процессах имплантации легких или тяжелых ионов, при культивировании монокристаллов полупроводников типа $A^3B^3C_2^6$ и облучении их различными квантами возникают определенные специфические и радиационные дефекты, возникают более стойкие или менее стойкие структурные нарушения.

Воздействие гамма-лучей на образец состоит из 3 механизмов: комптоновского эффекта, фотоэлектрического эффекта и образования пар. Образование каждого из них зависит от энергии гамма-квантов и от атомного номера элемента. Гамма-лучи – это электромагнитное излучение, возникающее как радиоактивный изотоп при распаде нестабильного источника (Co^{60} , Ir^{192} , Cs^{137} , Tm^{70}). Каждый изотоп имеет свои специфические свойства, которые гарантируют его пригодность для определенных применений. В гамма-излучении энергетические уровни стабильны, а интенсивность энергии уменьшается в зависимости от времени. Гамма-лучи похожи на рентгеновские лучи (рентгеновские лучи) и удобны для обнаружения неправильных дефектов. Лучи Co^{60} широко используются для изучения ионизированных дефектов в диэлектриках.

В результате взаимодействия вещества с радиацией возникают эффекты, связанные с радиацией. Возникающие эффекты излучения классифицируются следующим образом:

- Эффект ионизации за счет образования электронно-дырочных пар;
- Эффект смещения в результате столкновения с частицами высокой энергии.

Эти эффекты снижают эффективность вещества и образуют побочные дефекты. Однако взаимодействие излучения с веществом изменяется в зависимости от типа вещества, массы атомов, входящих в состав вещества, и заряда, массы, атомного номера частицы.

С целью облучения образцов γ -квантами кристаллы, начальные термоэлектрические параметры которых были измерены, помещают в специальные кварцевые колбы, после чего воздух из колбы всасывают, а горло оплавляют и закрывают. Затем эти ампулы помещаются в специальную камеру устройства Co^{60} . Изменяя расстояние между камерой и источником, с помощью специального регулятора его ставят на линейку, отсортированный по расстоянию, и определяют мощность излучения по соответствующим расценкам. После определения значения расстояния определяется цена поглощенного излучения в образце с учетом мощности источника.

Для исследовательских целей в лаборатории на установке GURX-10000 были собраны образцы, облученные гамма-квантами. Большой объем рабочей камеры устройства позволяет получить высокую мощность излучения (1,8-102 г/с). Источник излучения установки состоит из стандартного источника Co^{60} . Для получения различных значений дозы облучения в камере используют ферросульфидный метод. Сила дозы облучения определяется с помощью следующей формулы [2]:

$$p = \frac{2,8 \cdot 10^4 \Delta D_n}{t} \quad (1)$$

Где- D оптическая плотность среды, t - время излучения.

С помощью вышеуказанного метода определяется значение поглощения дозы в растворе. Для перехода поглощенной дозы в экспозиционную используют следующую формулу:

$$D_{muh.} = D_{hava} \frac{87\gamma_{muh.}}{100\gamma_{hav.}} \quad (2)$$

Где- u среда и u воздух коэффициенты, поглощаемых гаммы излучений в растворе и воздухе

Таким образом, учитывая, что энергия гамма-квантов для Co^{60} $E_\gamma = 1,25$ МэВ, отношение поглощающих доз между средой и воздухом будет следующим:

$D_{\text{среда}}(\text{рад}) = 0,968 D_{\text{воздух}}(\text{рентген})$.

Лучи излучения оказывают существенное влияние на физические свойства полупроводниковых материалов. Установлено, что одним из процессов, происходящих в результате воздействия радиационных лучей, является наблюдаемое нарушение кристаллической структуры полупроводника. Существует эта нерегулярность в форме возбуждения атомов или изменения координатного центра в зависимости от характера столкновения частиц с атомами и играет ключевую роль при упругом столкновении. Если кинетическая энергия частицы больше энергии химической связи атома, атом покидает узел кристаллической решетки, в результате чего между узлами образуется атом и оставшееся в узле свободное пространство (вакансия). Такие пары называются дефектами Френкеля. Согласно результатам, полученным в исследованиях, наименьшая энергия, которую может иметь частица, чтобы сдвинуть атом с узла, называется энергией Астана (E_a) и составляет 10-30 эВ для полупроводников. Если энергия, получаемая атомом во время столкновения, слишком высока, чтобы быть E_a , то наблюдается селективное столкновение.

Во время прохождения гамма-квантов через вещество кванты в основном взаимодействуют с электронной подсистемой. Сечение генерации начальных дефектов (пар Френкеля) определяется сечениями генерации Комpton-фотоэлектрона ($\sigma_{\text{с}} \text{ и } \sigma_{\text{еф}}$) и электрона ($\sigma_{\text{е}}$) под действием гамма - квантов.

Радиационные дефекты, возникающие в полупроводниковых материалах в результате различных излучений, приводят к образованию мелкого и глубокого энергетических уровней в запрещенной зоне.

Большой интерес представляет создание радиационных дефектов в полупроводниковых материалах быстрыми электронами и γ - лучами. При облучении образцов быстрыми электронами и γ -лучами с энергией порядка 1 МэВ образуются вакансии или межузловые дефекты (пары Френкеля). Чтобы сдвинуть любой атом с места во время излучения, важно сообщить ему энергию порога. Если энергия, передаваемая атому быстрыми частицами, меньше энергии порога, то атом не сдвинется с места, а будет двигаться колебанием вокруг своего равновесного состояния в кристалле.

когда γ -кванты проходят через кристалл, они в основном взаимодействуют с электронной подсистемой. Потому что поперечное сечение взаимодействия γ -квантов с ядром слишком мало, чтобы сравнить его с поперечным сечением взаимодействия с электронами. во время взаимодействия γ -квантов с веществом происходят три основных процесса: фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование электрон-позитронной пары. Во время фотоэффекта вся энергия γ -квантов расходуется на отрыв электрона. Кинетическая энергия оторвавшегося электрона:

$$E_e = h\nu - E_r \quad (3)$$

Где E_r – энергия связи электрона в атоме, E_e – кинетическая энергия электрона.

При этом случае коэффициент поглощения γ -квантов, энергия которых больше энергии связи электронов, находящихся в с-слое атома (τ):

$$\tau \approx NZ^3(h\nu)^{-3,5} \cdot 10^{-33} \text{ см}^{-1} \quad (4)$$

определяется по формуле. Где Z -заряд ядра, N – число атомов в 1 см^3 .

В результате комптоновского рассеяния γ -квантов больших энергий от электронов вещества эти электроны получают энергию наведения. Кинетическая энергия, которую электрон получает при нахождении:

$$E = h\nu - h\nu' \quad (5)$$

определяется по выражению. Где $h\nu$ – энергия предшествующего кванта, $h\nu'$ – энергия рассеянного кванта. Рассеянный Квант $h\nu'$ -энергия которого зависит от угла рассеяния (α).

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (1 - \cos\alpha) \frac{h\nu}{mc^2}} \quad (6)$$

Энергия изотопа радиоактива ^{60}Co составляет $1,17 \text{ МэВ}$, а γ -кванты – $1,33 \text{ МэВ}$. Такие энергетические γ -кванты при прохождении через вещество создают в основном комптоновские электроны и небольшое количество фотоэлектронов. При взаимодействии с атомами вещества электроны, получившие определенную кинетическую энергию во время эффекта Комптона или фотоэффекта, вызывают дефекты. Таким образом, облучение вещества γ -лучами с энергией квантов около 1 МэВ эквивалентно облучению быстрыми электронами внутри вещества.

Основываясь на оценках расстояния между атомами (в тетраэдре $\text{In} - \text{Se} = 2,56 \text{ \AA}$ и $\text{Se} - \text{Se} = 4,5 \text{ \AA}$, а на вершине таллия $8 \text{ Tl} - \text{Se} = 3,42 \text{ \AA}$ и $\text{Se} - \text{Se} = 4,06 \text{ \AA}$), была рассчитана значение электростатической энергии и составила $12,8 \text{ эВ}$. В то время как энергия, необходимая для отрыва атома от трех соседних атомов, равна $U=0,3 \text{ эВ}$ [3]. В литературе показано, что для установления существующей химической связи между атомами значение минимальной энергии должна быть в двух одинаковых составах энергии связи. Для разрыва четырех связей требуется энергия, равная двум единицам энергии связи.

Анализ научных работ по типичным соединениям показывает, что электрические, фотоэлектрические, оптические и диэлектрические свойства монокристаллов со слоистой и цепной структурой зависят от концентрации дефектов, нарушающих периодичность кристаллической решетки и создающих локальные изменения расположения атомов. Свободное и хаотичное расположение этих дефектов в кристаллической решетке и изменение их концентрации с помощью внешних воздействий в широком интервале (температура, свет, ионизирующие лучи) приводят к наблюдению новых физических свойств в соединении TlInSe_2 .

Дефекты, создаваемые с целью получения новых физических свойств полупроводникового материала, должны быть такими, чтобы эти дефекты оставались постоянными до окончания срока службы устройства. Для этого следует выбирать такие материалы, чтобы срок службы дефектов, возникающих в этих материалах, был большим. С другой стороны, становится важным более быстрое устранение дефектов, ухудшающих свойства материала. При этом должны быть выбраны такие материалы, чтобы либо дефекты в этих материалах были менее стойкими, либо такой материал, чтобы энергия порога для образования дефектов в этих материалах была достаточно большой.

Из литературы [4] известно, что при облучении кристалла быстрыми частицами: электронами, нейтронами, γ -квантами в кристалле возникают дефекты различной природы, и эти дефекты приводят к изменению коэффициента теплопроводности и других параметров кристалла. Поскольку нейтрон электрически не заряжен, он не взаимодействует с заряженными частицами в Кристалле, а только рассеивается от ядра. Однако при ядерной делении быстрыми нейтронами нейтрон просто рассеивается.

В то время как нейтрон со слабой скоростью захватывается ядром, и ядро превращается в изотоп с другим массовым числом, испуская γ -лучи. облучение γ -квантами вызывает различные типы дефектов (изменений) в структуре кристаллической решетки: вакансии, межузловые атомы, структурные изменения в области и т. д. образуется и дефект Френкеля в кристалле. При облучении кристалла γ -лучами и рентгеновскими лучами происходит ионизация и возбуждение электронов внутри кристалла, а внутри вещества образуются быстрые электроны. В это время энергия, затраченная на образование электрона, расходуется на последующую ионизацию. В некоторых случаях при упругом столкновении электронов происходит смещение атома, в результате чего в кристалле возникают определенные флуктуации. Так, при облучении γ -квантами, в отличие от нейтронного излучения, сначала в кристалле происходит первичная ионизация, а затем происходит смещение атома в структуре. Точечные дефекты кристаллической решетки представляют собой различные включения, изотопы и пустоты,

локализованные в узловых точках кристалла [3, 4].

На рисунке 1 показаны температурные зависимости коэффициента теплопроводности для не облученного и облученного γ -квантами TlInSe_2 твердого раствора 50 кГц и 100 кГц. Из рисунка видно, что излучение γ -квантами влияет на характер температурной зависимости коэффициента теплопроводности твердого кристалла раствора TlInSe_2 , а также на его численное значение. По истечении определенного времени теплопроводность облучаемого образца постепенно возвращается в исходное состояние.

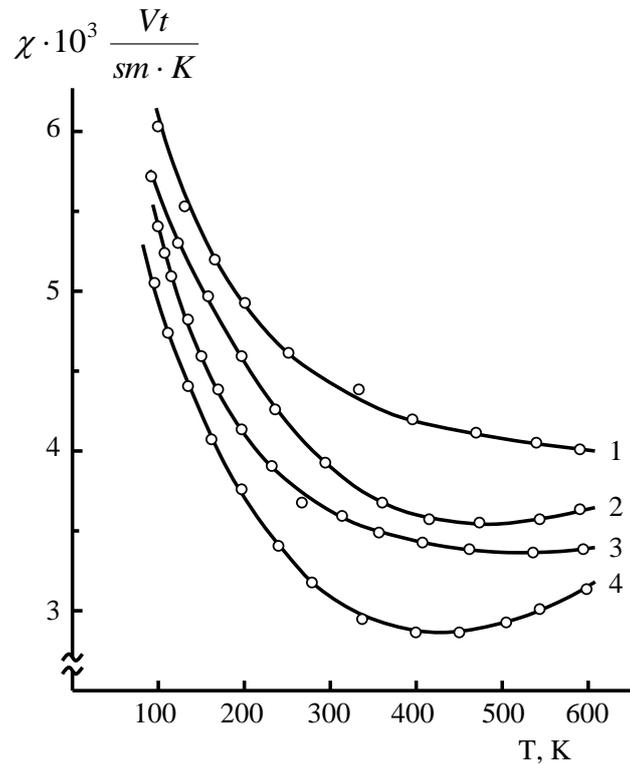


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента теплопроводности для твердого кристалла раствора TlInSe_2 . 1 – не облученный, 2 – облученный γ -квантами 50 кГц, 3 – через 240 часов после облучения, 4 – 100 кГц облученных γ -квантами

Список литературы / References

1. Bray D.E. Nondestructive evaluation: a tool in design, manufacturing and service. / D.E. Bray, R.K. Stanley. United States of America: CRC Press, 1996. 274 p.
2. Мадатов Р.С., Наджафов А.И., Тагиев Т.Б., Газанфаров М.Р. Влияние ионизирующего излучения на механизм токопрохождения в монокристаллах TlInSe_2 . // ФТТ, 2011. Стр. 90-95.
3. Керимова Э.М. Низкоразмерные полупроводниковые соединения. Баку, 2010. 620 с.
4. Оскотский В.С., Смирнов И.А. Дефекты в кристаллах и теплопроводность. Изд-во «Наука». Л., 1972. 160 с.