

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

6-2025
ANIQ FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

MATEMATIKA

Sh.T.Nishonova, M.S.Sodiqova

Elliptiko-giperbolik tipdagi tenglama uchun bir chegaraviy masalaning
bir qiymatli yechimi..... 4

N.S.Ikramova, M.T.Yunusalieva

Solvability of a mixed problem for a degenerate sub-diffusion
equation in a rectangular domain 12

INFORMATIKA

B.A.Umarov

IoT qurilmalarini tarmoqqa ulashdagi protokollar tahlili 25

B.A.Umarov, Sh.M.Kimsanboyeva

Tarmoq energiya samaradorligini oshirish strategiyalari..... 29

FIZIKA-TEXNIKA

G.Q.Muxamadaliyeva, M.R.Akbaraliyeva

Tabiiy va sun'iy tolalarni o'quvchilarga o'rgatishda steam va
smart metodlari orqali o'qitish samaradorligini oshirish..... 32

M.F.Solijonova

Texnologik ta'lim yo'nalishi talabalariga zamonaviy innovatsion pedagogik
texnologiyalardan foydalanib 'metallarning xossalarini o'qitish 36

J.R.Bobojonova

Umumta'lim maktablarida ta'lim samaradorligini oshirishda interfaol
usullarining roli 40

Sh.Sh.Shuxratov, S.A.Ismoilova

Alohida ta'lim ehtiyojlariga ega o'quvchilar uchun interfaol
pedagogik yondashuvlar 44

C.M.Отажонов, P.H.Эргашев, K.A.Ботиров, Д.Х.Нажмиддинова

Оптические свойство и рентгеноструктурный анализ тонких
пленок cдте с глубокими примесными уровнями 49

M.X.Рахмонкулов

Цели и методы изучения радиационных дефектов в полупроводниках 57

I.V.Xoldarova, Sh.A.Ibragimova

Mehnatsevarlik tushunchasining asosiy sotsiomadaniy
va tarbiyaviy kontsepsiyalari 61

ILMIY AXBOROT

G.X.Ismoilova

Xalq hunarmandchiligi va milliy qadriyatlarni umumiy o'rta ta'lim
maktablarida smart usulidan foydalanib o'qitish samaradorligi 67

F.R.Muxitdinova

Magnit maydondagi p-n o'tish kuchlanishining turli temperaturalarda o'zgarishi 671



UO'K: 538.915:621.315.592

ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**YARIMO'TKICHILARDAGI RADIATSIYA NUQSONLARINI O'RGANISHNING MAQSADLARI VA USULLARI****OBJECTIVES AND METHODS OF STUDYING RADIATION DEFECTS IN SEMICONDUCTORS****М.Х.Рахмонкулов**Дотцент, физика-математическое наук
Ферганский государственный университет**Аннотация**

Изучения количества возникающих под действием жестких излучений дефектов, а также для получения сведений о системе энергетических уровней дефектов систематически применяются измерения электропроводности и эффекта Холла. Совокупность данных, полученных из опытов, проведенных с кристаллами германия и кремния, а также и с другими полупроводниками, убедительно показывает, что радиационные дефекты (даже в наиболее простом с точки зрения теоретических представлений случае электронной бомбардировки) имеют сложный спектр мелких и глубоких энергетических уровней в запрещенной полосе. Наличие нескольких глубоких уровней дефектов в кристаллах с достаточно широкой запрещенной полосой качественно объясняют, распространяя представление об уменьшении энергии связи электрона средой с высокой диэлектрической проницаемостью на случай многократной ионизации (например, для междоузельного атома Ge или Si). Аналогичным образом считают, что незаполненные валентные связи в области пустого узла (вакансии) приводят к существованию нескольких уровней захвата электронов.

Anotatsiya

Elektr o'tkazuvchanligini o'lchash va Xoll effekti qattiq nurlanish ta'sirida yuzaga keladigan nuqsonlar sonini o'rganish, shuningdek, nuqsonlarning energiya darajalari tizimi haqida ma'lumot olish uchun tizimli ravishda qo'llaniladi. Germaniy va kremniy kristallarida, shuningdek, boshqa yarimo'tkazgichlarda o'tkazilgan tajribalardan olingan ma'lumotlar to'plami radiatsiya nuqsonlari (hatto nazariy jihatdan eng oddiy elektron bombardimon holatida ham) tasma oralig'ida sayoz va chuqur energiya darajalarining murakkab spektriga ega ekanligini ishonchli tarzda ko'rsatadi. Yetarlicha keng tasma oralig'iga ega kristallarda bir nechta chuqur nuqson darajalarining mavjudligi yuqori o'tkazuvchanlikka ega muhitda elektron bog'lanish energiyasining pasayishi tushunchasini bir nechta ionlanish holatiga kengaytirish orqali sifat jihatidan tushuntiriladi (masalan, interstitsial Ge yoki Si atomi uchun). Xuddi shunday, bo'sh joy (vakansiya) mintaqasida to'ldirilmagan valentlik bog'lanishlari bir nechta elektronni ushlab turish darajalarining mavjudligiga olib keladi deb ishoniladi.

Abstract

Measurements of electrical conductivity and the Hall effect are systematically used to study the number of defects arising under the influence of hard radiation, as well as to obtain information about the system of energy levels of defects. The body of data obtained from experiments conducted on germanium and silicon crystals, as well as on other semiconductors, convincingly demonstrates that radiation defects (even in the theoretically simplest case of electron bombardment) have a complex spectrum of shallow and deep energy levels in the band gap. The presence of multiple deep defect levels in crystals with a sufficiently wide band gap is qualitatively explained by extending the concept of a decrease in the electron binding energy in a medium with high permittivity to the case of multiple ionization (for example, for an interstitial Ge or Si atom). Similarly, unfilled valence bonds in the region of an empty site (vacancy) are believed to lead to the existence of multiple electron trapping levels.

Ключевое слова: радиационных дефектов, гранитца кристалитов, радиационные дефекты, глубоких энергетических уровней.

Kalit so'zlar: radiatsiya nuqsonlari, kristallit granit, radiatsiya nuqsonlari, chuqur energiya darajalari.

Key words: radiation defects, crystallite granite, radiation defects, deep energy levels.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении радиационных нарушений структуры, в полупроводниках преследуются

цели, которые частью можно отнести к общим вопросам физики твердого тела, частью — к проблемам получения новых полупроводниковых материалов с особыми свойствами, определенными в первую очередь природой и спектром энергетических уровней радиационных дефектов или химических примесей, возникающих вследствие ядерных реакций.

Полупроводники представляют собою особенно удобные объекты для исследования вопроса о пороговых энергиях образования дефектов и получения сведений о процессе возникновения и природе простых и более сложных радиационных нарушений.

Важные результаты для физики реальных кристаллов, дает изучение восстановления равновесного состояния в полупроводниках, которое имеет место при отжиге радиационных нарушений, с другой стороны, изучение устойчивости дефектов чрезвычайно важно и с практической точки зрения. Действительно, в случае, когда дефекты приводят к появлению новых ценных свойств полупроводника (например, к возникновению области инфракрасной фотопроводимости), важно, чтобы эти свойства сохранились в течение срока службы полупроводникового прибора. Напротив, вредное влияние дефектов, выражающееся, например, в повышении скорости объемной рекомбинации, в принципе можно устранить, выбирая полупроводниковые материалы, в которых дефекты мало устойчивы, или материалы с достаточно высокими пороговыми энергиями образования дефектов.

Перед тем, как переходить к экспериментальным данным о радиационных дефектах, целесообразно кратко рассмотреть некоторые из методов исследования, оказавшихся особенно результативными в этой области.

С целью изучения количества возникающих под действием жестких излучений дефектов, а также для получения сведений о системе энергетических уровней дефектов систематически применяются измерения электропроводности и эффекта Холла. Совокупность данных, полученных из опытов, проведенных с кристаллами германия и кремния, а также и с другими полупроводниками, убедительно показывает, что радиационные дефекты (даже в наиболее простом с точки зрения теоретических представлений случае электронной бомбардировки) имеют сложный спектр мелких и глубоких энергетических уровней в запрещенной полосе. Наличие нескольких глубоких уровней дефектов в кристаллах с достаточно широкой запрещенной полосой качественно объясняют, распространяя представление об уменьшении энергии связи электрона средой с высокой диэлектрической проницаемостью на случай многократной ионизации (например, для междоузельного атома Ge или Si). Аналогичным образом считают, что незаполненные валентные связи в области пустого узла (вакансии) приводят к существованию нескольких уровней захвата электронов. Эти представления были впервые высказаны в работе Джеймса и Ларк-Горовица [1], согласно гипотезе которых междоузельный атом является донором, вакансия — акцептором.

Как правило, возникновение радиационных дефектов в кристаллах полупроводников сопровождается изменением равновесной концентрации носителей тока вследствие захвата носителей уровнями дефектов или из-за ионизации последних. Помимо определения относительных изменений концентрации в зависимости от положения уровня Ферми, для определения положения уровней дефектов и концентрации носителей, захватываемых или освобождаемых этими уровнями, часто используют температурную зависимость эффекта Холла.

Независимо от знака электропроводности и типа химических примесей, определявших ее в исходном материале, в результате возникновения радиационных нарушений структуры происходит захват носителей основного типа. Вследствие этого электропроводность монотонно падает с ростом интегральной дозы облучения, приближаясь к значению, которое должно характеризовать материал с собственной электропроводностью (напр. для кремния около $2 \cdot 10^5 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ при 300° K).

Уменьшение электропроводности, в первую очередь, связано с падением концентрации носителей; одновременно с этим наблюдается уменьшение подвижности, играющее роль эффекта второго порядка.

В связи с широкими перспективами практического применения полупроводниковых

FIZIKA-TEKNIKA

соединений, вопрос о действии жесткой радиации на эти вещества представляется очень важным. Теоретический анализ возможных случаев возникновения точечных дефектов в этих кристаллах значительно более сложен, чем в одноатомных веществах. Например, в бинарном соединении со структурой цинковой обманки в результате смещения или замещения атомов могут возникать точечные дефекты восьми типов: два типа вакансий, 4 типа междоузельных атомов (междоузельный атом может быть в одном случае окружен подобными ему атомами, в другом случае — атомами второго элемента) и, наконец, два типа дефектов, возникающих вследствие замещения.

Трудности анализа явлений заставляют в настоящее время подходить к вопросу о радиационных нарушениях в полупроводниковых соединениях феноменологически, исходя из результатов применения методов исследования, рассмотренных выше. Определяя изменения равновесной концентрации носителей, удаляющихся из той или другой зоны в результате захвата уровнями радиационных дефектов, можно получить сведения о концентрации дефектов и положении принадлежащих им уровней захвата. Для первоначальных оценок особенно удобно использовать вырожденные или почти вырожденные образцы. Например, если концентрация носителей в материале n-типа в результате облучения уменьшается, из этого следует, что радиационные дефекты имеют преимущественно акцепторные уровни. Подобным же образом уменьшение концентрации дырок в материале p-типа указывает на возникновение донорных центров. Экспериментальные данные показывают, что под действием жестких излучений во всех полупроводниках возникают как донорные, так и акцепторные центры. По мере возрастания числа радиационных нарушений до значений, сильно превосходящих, исходные концентрации химических примесей, равновесная концентрация носителей и связанное с ней положение уровня Ферми приближаются к предельным значениям (насыщение). Эти предельные значения определяются системой возникающих энергетических уровней радиационных нарушений.

Кристалл, в котором существуют радиационные дефекты, представляет собою неустойчивую систему и, вообще говоря, с течением времени при температуре, отличной от нуля, должен приближаться к устойчивому состоянию, т. е. число дефектов должно уменьшаться. Экспериментальное исследование отжига радиационных дефектов в кристаллах позволяет получить сведения о движении вакансий и междоузельных атомов и взаимодействии этих простейших точечных дефектов структуры с нарушениями иного типа, в частности, химическими примесями и дислокациями. Насколько можно судить по результатам довольно подробных исследований восстановления структуры, нарушенной облучением полупроводников, процессы отжига сильно зависят от типа и концентрации химических примесей в кристаллах. С точки зрения представлений об отжиге как о «реакции, ограниченной диффузией», наиболее простым случаем должен быть отжиг дефектов, возникающих под действием быстрых электронов или гамма-лучей, когда первоначально возникающие пары (дефекты Френкеля) можно считать равномерно распределенными по объему кристалла.

На рис.1 изображена зависимость потенциальной энергии дефекта Френкеля от расстояния, разделяющего междоузельный атом и вакансию [11].

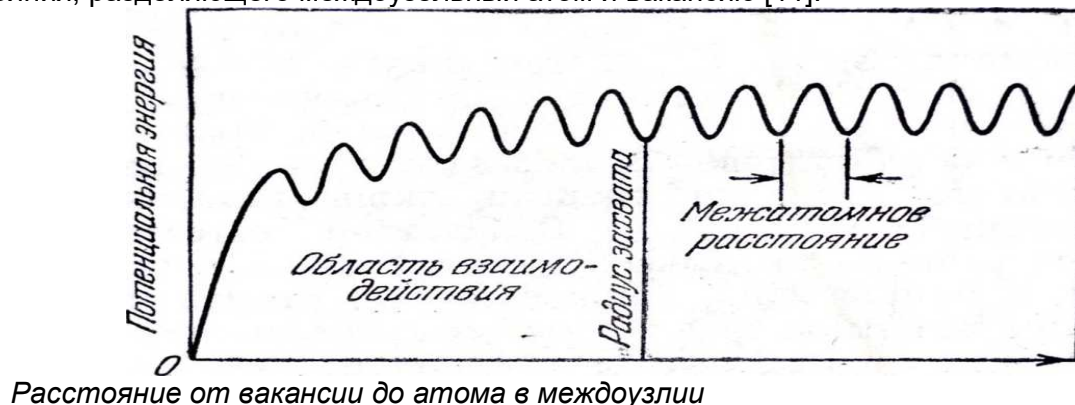


Рис.1. Простейшая энергетическая схема, используемая для интерпретации явлений отжига радиационных нарушений.

При очень малых разделяющих расстояниях энергия круто возрастает, что соответствует работе, необходимой для удаления атома из узла; переводу атома в одно из ближайших «естественных» междоузлий соответствует первый мелкий минимум. Последующие мелкие минимумы на кривой рис.1 соответствуют междоузлиям, удаленным от оставленного атомом начального узла на различные расстояния. На очень больших расстояниях от начала глубина всех таких минимумов должна быть одинаковой. Однако следует предположить, что вблизи вакансии на смещенный атом действует сила, обусловленная искажением решетки и направленная к вакансии. Действие этой силы сводится к снижению энергии минимумов по мере приближения к вакансии

ЛИТЕРАТУРА

1. James H., Lark – Horovitz K. J. Phys. Chem. (Leipzig) 198, 107 (1951).
2. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. М. Изд. физ.-мат. лит. 1963. 264 с.
3. Гудкин Т. С., Драбкин И.А., Кайданов В.И. и другие. Особенности рассеяния электронов в тонких пленках PbTe/ФТП 1974. Т.8. Вып.11. С 2233-2235.
4. Неустроев Л.Н., Осипов В.В. О механизме протеканце тока и фототока в полиприота max PbS. /ФТП 1984. Т.18 Вып. 2. С 259-262.
5. Равич Ю.И., Ефимова Б.А., Смирнов И.А. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS. – М: Наука 1968- 383.
6. Lawson W.D., J. Appl. Phys. 22 1444 (1951).
7. Silverman S.J., Levinstein H. Phys. Rev 94, 871 (1954).
8. Putley E.H. Proc. Phys. Soc. (London) B65, 388, 736, 992 (1952)
9. Scanlon W.W. Phys. Rev, 92, 1573. (1953).
10. Scanlon W.W. Bpebrick R.F, Physica, 20, 1090 (1954).
11. Scanlon W.W. Bpebrick R.J, Phys Rev, 93. 1430 (1954).
12. Mitchel G.R. Goldberd.A.J. Phys. Rev, 93. 1421. (1953).
13. Moss T.S. Proc, IRE 43, 1869. (1955).