



ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ Si/ZnSe

Турсунов Орзибек Бахром угли

Ассистент кафедры Радиотехнические устройства и системы
Ташкентский государственный технический университет, 100095
Ташкент, Узбекистан

e-mail: orzubek.tursunov@yandex.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10730318>

ARTICLE INFO

Received: 22th February 2024

Accepted: 28th February 2024

Online: 29th February 2024

KEYWORDS

Кремний, клоунские взаимодействия, нанокластеры, гетероваригонная структура, селен, цинк, диффузия, запрещенная зона, примесь, концентрация, комбинационное рассеяние света.

ABSTRACT

Существующие в настоящее время технологические методы изготовления и полупроводниковые материалы, используемые при разработке эффективных фотоэлементов с максимальным коэффициентом полезного действия и стабильными параметрами, практически достигли своего предела. Для дальнейшего повышения основных параметров фотоэлементов необходимо использовать нетрадиционные полупроводниковые материалы или новые физические явления. Современное развитие микро- и оптоэлектроники вызывает интерес к синтезу новых материалов в виде тонкопленочных твердых растворов замещения, в том числе и на основе полупроводниковых соединений A^3B^5 и A^2B^6 . Поскольку ширина запрещенной зоны и постоянная решетки таких соединений меняются в определенных пределах, то на их основе можно синтезировать полупроводниковые материалы с широким диапазоном электрических и фотоэлектрических свойств, получить сверхрешетки с квантовыми точками, разработать гетеропереходные структуры.

Введение

Многие проблемы микроэлектроники, и в особенности наноэлектроники, напрямую связаны с созданием полупроводниковых структур с чистой и однородной поверхностью достаточно большой площади. В идеале речь идет о создании атомарно-чистой и атомарно-гладкой поверхности. Однако реально достижение этой цели в лабораторных и тем более производственных условиях встречает целый ряд трудностей.

Исследования химического состава поверхности и скола выращенных образцов на рентгеновском микроанализаторе «Jeol» JSM 5910 LV-Japan показывают, что распределение компонентов в объеме эпитаксиального слоя $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ изменяется

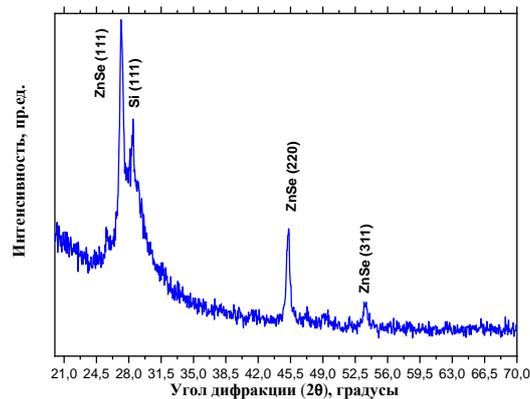


в пределах $x = 0 \div 0,0075$. На рис.1.приведен профиль распределения компонентов по глубине эпитаксиального слоя. Видно, что при выращивании твердого раствора $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ содержание ZnSe в эпитаксиальном слое немонотонно растет, что возможно объясняется неперенасыщенностью раствора-расплава в жидкой фазы по отношению к молекулам ZnSe. Дальше содержание ZnSe быстро растет, достигая значению $x = 0,0075$ на поверхности пленки. Поскольку рост слоев осуществляется в ограниченном объеме, то с ростом твердого раствора концентрация ZnSe в жидкой фазе постепенно уменьшается, что обуславливает постепенное снижение мольной доли ZnSe в твердой фазе.

Оптические и электронные свойства полупроводников нанокристаллические частицы могут быть адаптированы путем формирования структура ядро/оболочка.1 До сих пор нанокристаллические структуры ядро/оболочка полупроводников II–VI и III–V, такие как CdSe/ZnS, CdSe/ZnSe, CdSe/CdS, InAs/CdSe и InP/ZnS[1] имеют был синтезирован. Значительное усиление люминесценции и стабильность против окисления, по сравнению с материалами сердцевины, наблюдается для композитного ядро/оболочки\наноструктуры. [1,2] Тем не менее, заявленные ядра структуры и оболочки изготовлены из аналогичных прямых широкозонных полупроводники, такие как CdSe и CdS. Отмечается, что если могут быть реализованы наноструктуры ядро/оболочка, состоящие из двух типов полупроводников (прямой и непрямой), большая разница в запрещенной зоне между ними может привести к наноэлектронике.устройства, такие как нановолноводы и наноконденсаторы. Кремний, полупроводник с непрямой запрещенной зоной (ширина запрещенной зоны, 1,12 эВ), представляет особый интерес в связи с его ключевой ролью в современная полупроводниковая промышленность. [3] ZnS и ZnSe, известные широкая прямая запрещенная зона (<3,68 эВ для ZnS; <2,67 эВ для ZnSe) полупроводники считаются наиболее перспективные материалы для изготовления синих электролюминесценция4, диоды и устройства, излучающие синий или зеленый свет5. В этом письме мы сообщаем о синтезе нанокристаллические структуры Si/ZnS и Si/ZnSe ядро/оболочка производится путем двухстадийного термического испарения SiO и Смеси порошков ZnS или SiO и ZnSe.

Технология изготовления образцов и методы их исследования

В случае термического испарения смеси порошков SiO и ZnS, как показано на изображении сканирующего электронного микроскопа [(SEM) JSM-6700F]] на рис. 1(a), в сформированном виде продукт желтого цвета состоит из большого количества сферических частиц, большинство из которых имеет диаметр 90–160 нм, а небольшая



часть имеет диаметр 50 нм.

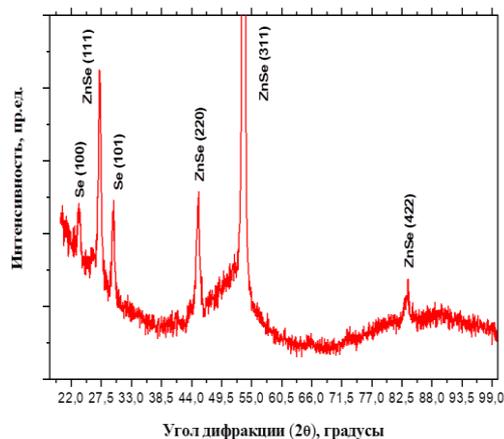


Рис.1(а) СЭМ-изображение и (b) рентгенограмма продукта, полученного термическое испарение смеси порошков SiO и ZnSe.

Порошковая рентгенограмма [(XRD) RINT 2200] [фиг.1(b)] показывает, что выращенный продукт представляет собой композитный материал, содержащий алмазный кубический Si (файл JCPDS: 27-1402) и вюрцитная (гексагональная) форма ZnSe (файл JCPDS: 36-1450)

Аналогичный анализ был проведен на продукте, полученном при термическом испарении порошка SiO и ZnSe смесь. СЭМ-наблюдение [Рис. 1(а)] показывает, что выращенный продукт содержит большое количество сферических частиц, с незначительной агрегацией и диаметром, 150–200 нм. Рентгенограмма [фиг. 1(b)] показывает, что полученный продукт также представляет собой композиционный материал, содержащий Si и гексагональный ZnSe (файл JCPDS: 15-0105). Рисунок 4 (а) показывает ПЭМ-изображение такого композитного материала Si/ZnSe. Большинство из них представляют собой эллиптические частицы, а небольшая количество из них отображает довольно сферические частицы. Свет и вариации темного контраста внутри этих частиц снова предполагают структуры ядро/оболочка, в которых толщина оболочек достаточно однородны, ≥ 30 нм, а диаметры ядер находятся в диапазоне ,120–170 нм. Рисунок 4(b) представляет собой ED образец, взятый из отдельной частицы. Он демонстрирует поликристаллические дифракционные кольца, которые можно



определить, как суперпозицию Si [(111), (220), (311), (331)] и гексагонального ZnSe [(100), (002), (101), (110), (103), (112), (203), (210)] размышления. Спектры ЭДС [(i) и (ii), рис. 4(c)] показывают, что оболочки сделаны из ZnSe, а ядра состоят из Si. Изображение HRTEM [рис. 4(d)], взятый из домен между ядром Si и оболочкой ZnSe, дополнительно проверяет поликристаллическая нанокристаллическая структура ядро/оболочка.

Как видно из предложенной модели, атомы, образованные новых кластеров, не является ни полным ковалентным, ни полным ионным связью, и образует прочную ионно-ковалентные связь. Согласно предложенной модели кластеры типа $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$ является как отдельный материал в кристаллической решетке кремния образовав соединений и ассоциации бинарных структур $A^{II}B^{VI}$ по отдельности. Образование таких соединений приводит к изменению электрических и оптических свойства которых можно рассматривать как принципиально новый материал электроники на основе кремния.

На поверхности и объеме нового материала, за счет образование ионного связи типа ZnSe приводит к появлению нанокластеров в объеме которых образуется p-n переходы также приводит изменение подвижности и время жизнь носителей заряда так же коэффициента поглощения света. При формировании таких электронейтральных молекул не нарушается тетраэдрическая химическая связь решетки кремния. При этом эти примеси не создают дополнительные электроны в зоне проводимости и дырок в валентной зоне, которые также влияет на электрофизические параметры кремния. Когда эти примесные атомы находятся в решетки в отдельности атомарном состоянии из-за ионизации вокруг себя создаёт электрический потенциал, который также является дефектом решетки. При формировании электронейтральных молекул между атомами II и VI группы не создается какие-либо энергетические уровни в запрещенной зоне кремния, т.е. не появляются дополнительные носители заряда. Особенно при образовании молекул учитывается наличие высокой концентрации примесных атомов. В состоянии молекулярной соединениями, энергетический потенциал атомов экранируется между собой, при этом необходимо учесть кулоновские взаимодействия. Эти перечисленные механизмов образование ионных связь являются стимулирующим фактором формирования электронейтральных молекул и обеспечивает наиболее термодинамическое равновесное состояние. Поэтому можно предполагать, что в определенных условиях элементы II и VI группы будут участвовать в образовании молекулярных соединениях. При образовании электронейтральных молекул формируются новые элементарные ячейки типа $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$. Концентрация и распределение таких бинарных элементарных ячеек в основном определяется диффузией, т.е. температурой и временем диффузии примесных атомов цинка и селена в кремний.

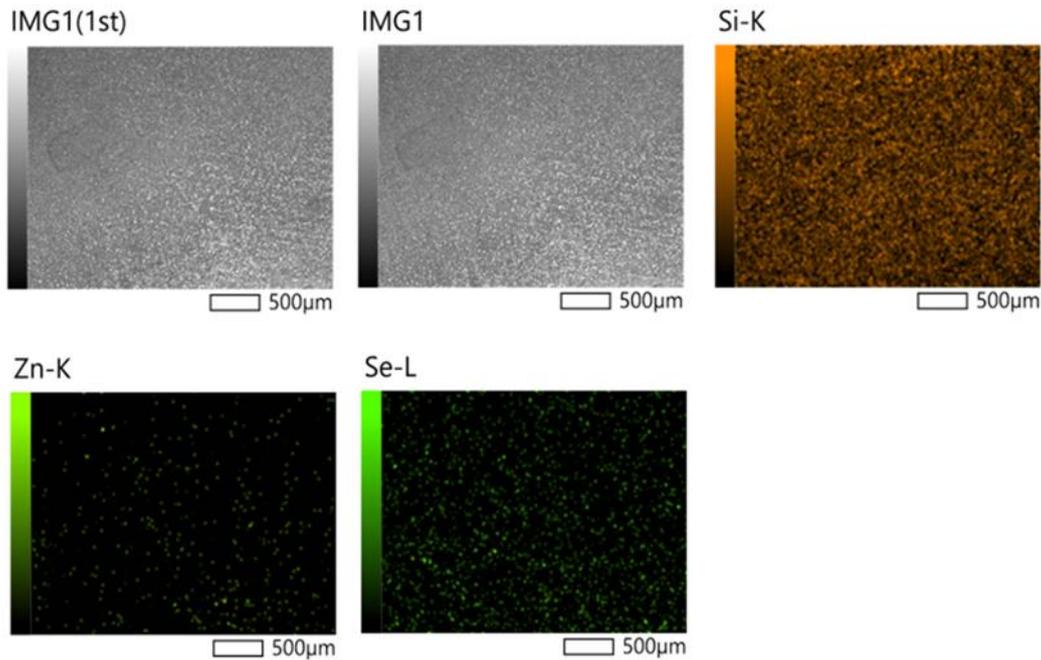
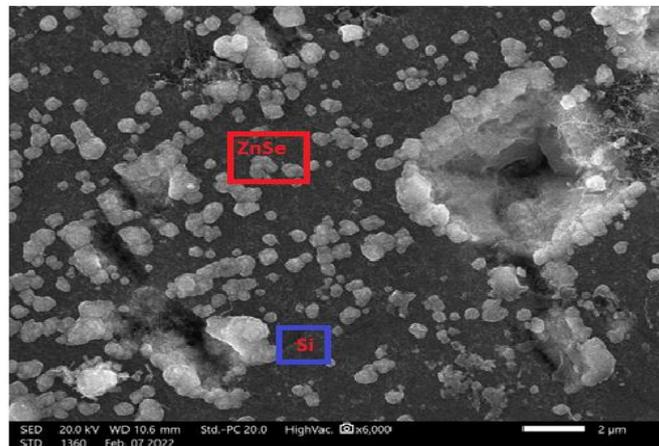
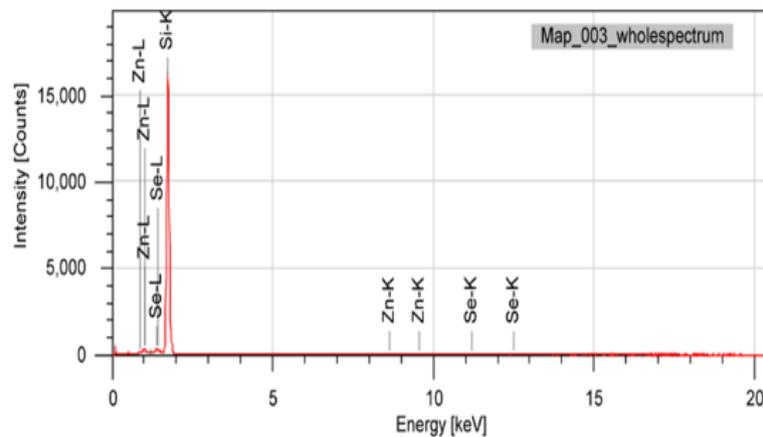


Рис. 2. Микрофотография поверхности образцов кремния, диффузионно легированного атомами цинка и селена.

На рис. 3, а представлена топография фронтальной стороны образцов кремния с элементарными ячейками типа $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, полученной сканирующим электронным микроскопом марки JSM-IT 200. Как показали результаты исследования в режиме рентгеновского микроанализа (рис. 3, б), на поверхности образца концентрация кремния (в атомных процентах) составляла – 97,43 %, цинк – 1,13 %, селен – 1,44 %. Таким образом, в поверхностных слоях кристалла кремния может содержаться до 2,57% бинарные соединения атомов цинка и селена.



a

b

Рис.3. а) Топография поверхности образца кремния после легирования атомами цинка и селена, б) Результаты рентгеновского энергодисперсионного микроанализа полученных на приборе JSM-IT 200 (спектр 2)

Для подтверждения того, что полученные структуры имеют твердые раствор типа $(Si_2)_{1-x}(ZnSe)_x$, исследовался рамановская и инфракрасная (ИК) спектроскопии (рис. 4) на установке HORIBA Scientific образцов кремния диффузионной легированного атомами цинка и селена.

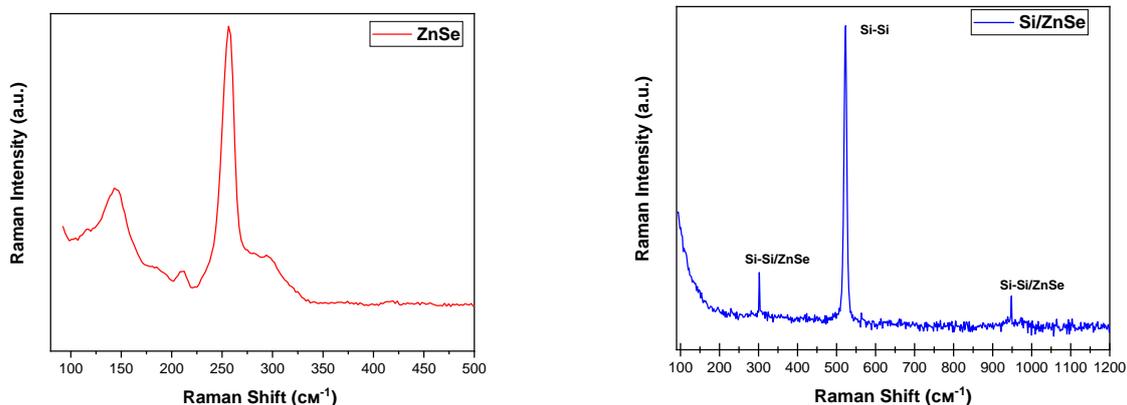


Рис.4 Спектры рамановского рассеяния света кристаллов ZnSe (a, b), профиль поверхности образцов типа Si-Si/ZnSe.

Как видно из спектра рамановского рассеяния света (рис.4.) в полученных образцах $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, установлено образование таких бинарных соединений типа Si-Si/ZnSe соответствующие в длины волн 300 и 900 cm^{-1} . Эти данные подтверждает образование бинарных соединения $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ которые приводит к изменению кристаллическую ячейку кремния, однако не влияет к кристаллическую структуры самого кремния. Образованные бинарные соединения в кремнии проводить к изменению электрофизических и оптических свойства исходного кремния.

Обсуждение результатов

Разработанная технология легирования диффузионным методом примесных атомов цинка и селена позволил управлять концентрации бинарных соединения, которые дают возможность управлять оптические свойства полученных материалов. Анализ приведенных исследования показал, что на основе полученного кремния с бинарными соединения типа $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ позволяет разрабатывать и создать проводниковые лазеры и эффективных солнечных элементов. Как известно из литературных данных монокристаллические кремнии хотя является основным материалом в электронной промышленности, однако на его основе невозможно создавать приборы работающих в области оптоэлектроники.

Вывод

Показано, что с помощью разработанной диффузионной технологии управляя величиной x в интервале $x=0-0,27$ можно создавать варизонные структуры типа $\text{ZnSe}_x\text{Si}_{1-x}$ с различной шириной запрещенной зоны. Это технология получения варизонных структур типа $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ на основе кремния позволит разработать фотоприемники с расширенной спектральной чувствительностью оптоэлектронных приборов и более эффективные фотоэлементы. Полученные кремневые структуры с бинарными соединения $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ показывает актуальности данного исследования.



References:

1. Саидов А.С., Ш.Н. Усмонов, М.У. Каланов, К.А. Амонов. № 15 (137) 2013
2. Бахадырханов М.К., Абдурахманов Б.А. Доклады Академии Наук РУз. №3, стр. 29-32.2019.
3. Saidov A.S, Razzakov A., Risaeva V., Koshchanov E. Minerals Chemistry and Physics. Vol. 68. P. 1-6. 2001.
4. Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Холиков К.Т., Сапаров Д. Письма в ЖТФ. Т. 33, вып. 16. С. 59-64. 2001.
5. Саидов А.С., Кошчанов Э.А., Раззаков А.Ш. Письма в ЖТФ. Т. 24, вып. 2. С. 12-16. 1998.
6. Н. Ф. Зикриллаев, О. Б. Турсунов, К. К. Курбоналиев, М. М. Шоабдурахимова. Физика полупроводников и микроэлектроника, том 2, вып. 2, с.15-19. 2020.
7. М. К. Бахадырханов, Х. М. Илиев, О. Б. Турсунов. Молодой ученый, № 43 (281), с. 22-26 2019.
8. Усмонов Ш.Н., Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Сапаров Д., Холиков К.Т. ФТП. Т. 43, вып. 8. С. 1131-1136. 2009.
9. Саидов А.С., Саидов М.С., Усмонов Ш.Н., Асатова У.П. ФТП. Т. 44, вып. 7. С. 970-977. 2010.
10. Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Илиев Х.М., Тачилин С.А., Камалов К.У. Гелиотехника, №2, С. 3-5. 2014.
11. М. К. Бахадырханов, С. Б. Исамов. Журнал технической физики, том 91, вып. 11. 2021.
12. М. К. Бахадырханов, З. Т. Кенжаев, С. В. Ковешников, А. А. Усмонов, Г. Х. Мавлонов. Неорганические материалы, том 58, № 1, с. 3-9. 2022.
13. М.К. Бахадирханов, Н.Ф. Зикриллаев, С.Б. Исамов, Х.С. Турекеев, С.А. Валиев. Физика и техника полупроводников, том 56, вып. 2 (199-203). 2022.
14. М.К. Бахадырханов, Г.Х. Мавлянов, С.Б. Исамов, Х.М. Илиев, К.С. Аюпов, З.М. Сапарниязова, С.А. Тачилин, Неорганические материалы, 47 (3), 545 (2011).
15. А.С. Саидов, А. Кутлимурастов, Б. Сапаев, У.Т. Давлатов, Письма в ЖТФ, 27 (8), 265 (2001).