

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/343851904>

CAPACITIVE SPECTROSCOPY OF DEFECTS IN SEMICONDUCTORS, DOPED BY ATOMS OF GADOLINIUM

Article · January 2019

DOI: 10.37681/2181-9947-019-X

CITATIONS

0

READS

65

5 authors, including:



[Shahriyor Norkulov](#)

National University of Uzbekistan

4 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



semiconductor physics [View project](#)



Министерство высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан

ISSN 2181-9947

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

SEMICONDUCTOR PHYSICS AND MICROELECTRONICS

Научный журнал

1 (01) 2019

Издательство ООО «KOLOR PAK»

г.Ташкент

Журнал «Физика полупроводников и микроэлектроника»

ISSN 2181-9947

Научный журнал «Физика полупроводников и микроэлектроника» публикует авторские материалы по следующим направлениям:

- Физика полупроводников
- Полупроводниковая микроэлектроника
- Полупроводниковое материаловедение
- Радиационная физика полупроводников

Главный редактор:

Док. физ.-мат. наук, профессор
Утамурадова Ш.Б.

Заведующая редакцией:

Канд. физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник
Гиясова Ф.А.

Верстка и дизайн обложки:

Норкулов Ш.Б.

Корректоры:

Файзуллаев К.М.
Наурзалиева Э.М.

Администратор сайта:

Закиров Р.Г.

Адрес редакции:

100057, Узбекистан,
г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20.

Телефон редакции: +998 71 248 79 94

Факс редакции: +998 71 248 79 92

E-mail: director@ispm.uz, ispm_uz@mail.ru

<http://www.ispm.uz>

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Учредитель: Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Издатель: Издательство ООО «KOLOR PAK»

Journal "Semiconductor Physics and Microelectronics"

ISSN 2181-9947

The scientific journal "Semiconductor Physics and Microelectronics" publishes copyrighted materials in the following areas:

- Semiconductor Physics
- Semiconductor Microelectronics
- Semiconductor Materials Science
- Radiation Semiconductor Physics

Editor-in-Chief:

Dr. Phys.-Math. Sc., Professor
Utamuradova Sh.B.

Head of Editor:

Cand. Phys.-Mat. Sc.
Senior Research Associate
Giyasova F.A.

Layout and design of the cover:

Norkulov Sh.B.

Proofreaders:

Fayzullaev K.M.
Naurzalieva E.M.

Site administrator:

Zakirov R.G.

Editorial address:

100057, Uzbekistan,
Tashkent, Yangi Almazar st., 20.

Telephone of Editors: +998 71 248 79 94

Fax Editorial: +998 71 248 79 92

E-mail: director@ispm.uz, ispm_uz@mail.ru

<http://www.ispm.uz>

The authors are responsible for the accuracy of the information contained in the articles. Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors of the materials.

Founder: Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

Publisher: "KOLOR PAK" LTD. Publishing House

СОДЕРЖАНИЕ

**Материалы республиканской научной конференции
“СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ”
(Ташкент, 26-27 октября 2018 года)**

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

- С.З.Зайнабидинов, Х.Дж.Мансуров, А.Ю.Бобоев, Х.А.Махмудов
**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОГО РАСТВОРА
(GaAs)_{1-x-y}(Ge₂)_x(ZnSe)_y С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ (0≤x≤0,17; 0≤y≤0,14).....** 11
- Х.С.Далиев, М.Ш.Дехканов, У.К.Эрглиев, Ш.Б.Норкулов, Ж.А.Эргашев
**ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ
АТОМАМИ ГАДОЛИНИЯ.....** 15
- Т.М.Разыков, Б.А.Эргашев, Р.Т.Йулдошов, М.Банев, М.Махмудов, К.М.Кучкаров
**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК
ТВЕРДОГО РАСТВОРА Zn_xSn_{1-x}Se ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ХМПО.....** 18
- Ш.Х.Далиев, А.Т.Мамадалимов, С.С.Насриддинов, А.Д.Палуанова, М.Б.Бекмуратов
**ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПОВЕДЕНИЕ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В
КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ВОЛЬФРАМОМ.....** 23
- Ш.Б.Утамурадова, Р.М.Эргашев, Х.Ж.Матчонов
ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ И МАРГАНЦЕМ..... 27
- М.Б.Набиев, Л.К.Мамадалиева, А.М.Касымахунова, Т.К.Жабборов, М.Латипова
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ОХЛАДИТЕЛЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ.....** 32
- М.А.Абдукадыров, Н.А.Ахмедова, А.С.Ганиев, И.О.Джуманиязов
**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ СОСТАВОВ Ga_xIn_{1-x}P НА ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА.....** 35

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

- А.К.Утениязов, К.А.Исмаилов, Ф.Т.Сражатдинова
**ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОП СТРУКТУРЫ Al-Al₂O₃-p-CdTe-Mo В
ПРЯМОМ НАПРАВЛЕНИИ ТОКА.....** 38
- Х.К.Арипов, А.М.Абдуллаев, Ш.Т.Тошматов
**ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВАХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ
В СХЕМЕ С ОБЩИМ СТОКОМ.....** 41
- Д.Р.Джураев, А.В.Каримов, Д.М.Ёлгорова, О.А.Абдулхаев, А.А.Тураев
**ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРАНЗИСТОРНОЙ
СТРУКТУРЫ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.....** 45

ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ АТОМАМИ ГАДОЛИНИЯ

Х.С. Далиев¹, М.Ш. Дехканов², У. К. Эруглиев¹, Ш.Б. Норкулов^{1*}, Ж.А. Эргашев¹

¹Национальный университет Узбекистана. Ташкент, Узбекистан.

²НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз. Ташкент, Узбекистан.

*e-mail: sh.norkulov@nuu.uz

Аннотация. Методом DLTS исследованы процессы дефектообразования в кремнии, легированном гадолинием. Показано, что диффузионное введение Gd в Si приводит к образованию глубоких уровней с энергиями ионизации $E_c-0.23$ эВ, $E_c-0.35$ эВ, $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.54$ эВ и сечениями захвата электронов σ_n : $4 \cdot 10^{-17}$ см², $2 \cdot 10^{-15}$ см², $1.1 \cdot 10^{-16}$ см² и $1.5 \cdot 10^{-15}$ см², соответственно, а в образцах p-Si<Gd> обнаружен только один уровень с $E_c+0.32$ эВ.

Ключевые слова: кремний, легирование, диффузия, гадолиний, глубокий уровень, энергия ионизации.

CAPACITIVE SPECTROSCOPY OF DEFECTS IN SEMICONDUCTORS, DOPED BY ATOMS OF GADOLINIUM

Kh.S. Daliev¹, M.Sh. Dehkanov², U.K. Erugliev¹, Sh.B. Norkulov^{1*}, J.A. Ergashev¹

¹National University of Uzbekistan. Tashkent, Uzbekistan

²Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz. Tashkent, Uzbekistan.

*e-mail: sh.norkulov@nuu.uz

Abstract. The processes of formation of defects in silicon, doped by gadolinium are investigated by the method of DLTS. It is shown that in diffusion the introduction of Gd in the Si leads to the formation of deep levels with ionization energies $E_c-0.23$ eV, $E_c-0.35$ eV, $E_c-0.41$ eV and $E_c-0.54$ eV and a capture cross section of electrons σ_n : $4 \cdot 10^{-17}$ cm², $2 \cdot 10^{-15}$ cm², $1.1 \cdot 10^{-16}$ cm² and $1.5 \cdot 10^{-15}$ cm², respectively, and in samples p-Si<Gd> found only one level with $E_c+0.32$ eV.

Keywords: silicon, doping, diffusion, gadolinium, deep level, ionization energy.

В последние годы для направленного изменения свойств Si его легируют так называемыми нетрадиционными примесями – редкоземельными элементами (РЗЭ), которые зачастую присутствуют в объеме Si в электрически неактивном состоянии, но оказывают существенное влияние на процессы дефектообразования, а также на рабочие характеристики полупроводниковых приборов [1-3]. Известно, что примеси редкоземельных элементов, введенные в кремний из расплава при выращивании, обладают высокой химической активностью и склонностью к комплексообразованию, являясь стоками для различных дефектов в объеме кремния. Поэтому исследование поведения различных примесей редкоземельных элементов в Si, а также изучение роли этих примесей в формировании электрофизических свойств кремния представляет

несомненный интерес для решения важных проблем полупроводникового материаловедения.

Цель данной работы - изучение процессов дефектообразования в Si, легированном редкоземельным элементом гадолинием.

Нами проведено комплексное изучение с помощью емкостной спектроскопии поведения атомов Gd, введенных в Si диффузионным методом. Диффузионное легирование кремния Gd проводилось при 1200⁰C в течение 40 часов, далее измерялся профиль распределения удельного сопротивления ρ в образцах Si<Gd>. Измерения показали, что профиль распределения ρ не описывается erf-функцией, а состоит из двух участков: вначале наблюдается резкий рост ρ на 1,5-2 порядка до глубины ~ 50 мкм, далее значение ρ стабилизируется и заметного изменения ρ с глубиной не наблюдается. Аналогичный профиль ρ в Si наблюдался для переходных металлов [4]. Значения ρ в контрольных образцах с глубиной не изменялись.



Рис. 1. Типичные спектры DLTS образцов n-Si<Gd> (1), p-Si<Gd> (2) и контрольного образца (3).

Измерения энергетического спектра глубоких уровней (ГУ), возникающих в кремнии, легированном гадолинием диффузионным методом проводились с помощью метода нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) на барьерах Шоттки, созданных на основе исходного Si и легированных образцов Si с примесью Gd. Концентрация ГУ в таких образцах определялась из максимума пиков DLTS, а также с помощью ВФХ. Типичные спектры DLTS образцов n-Si<Gd>, p-Si<Gd> и контрольного Si приведены на рис.1.

На спектрах DLTS образцов n-Si<Gd>, измеренных в режиме постоянного напряжения ($U_{обр} = 8$ В) в интервале температур 77-300К при $t_1 = 10$ мс и $t_2 = 60$ мс, обнаружены 4 пика с максимумами при $T_m = 120$ К (пик I), $T_m = 155$ К (пик II), $T_m = 205$ К (пик III) и $T_m = 255$ К (пик IV). Расчеты кривых Аррениуса - зависимостей $\lg(\theta) = f(10^3/T)$, полученных из спектров DLTS путем сравнения их с расчетной кривой $\Delta C / \Delta C_{max}$, показали, что эти пики обусловлены перезарядкой глубоких уровней $E_c - 0.23$ эВ.

$E_c-0.35$ эВ, $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.54$ эВ и сечениями захвата электронов σ_n : $4 \cdot 10^{-17} \text{см}^2$, $2 \cdot 10^{-15} \text{см}^2$, $1.1 \cdot 10^{-16} \text{см}^2$ и $1.5 \cdot 10^{-15} \text{см}^2$, соответственно.

В контрольных образцах Si, прошедших высокотемпературный отжиг при той же температуре, что и диффузия Gd, наблюдается один ГУ $E_c-0.23$ эВ (см. рис. 1, кривая 3). Обнаружено, что концентрации наблюдаемых ГУ, в особенности, ГУ II, III и IV, сильно зависят от $T_{\text{диф}}$ и $v_{\text{охл}}$: чем выше $T_{\text{диф}}$, тем больше концентрация атомов Gd в объеме Si. Напротив, концентрация ГУ $E_c-0.23$ эВ, наблюдаемого и в контрольных образцах, с ростом $T_{\text{диф}}$ падает. При одинаковых значениях $T_{\text{диф}}$ и $v_{\text{охл}}$ концентрация ГУ $E_c-0.23$ эВ в образцах n-Si<Gd> почти на порядок меньше, чем в контрольных образцах (без Gd). В образцах p-Si<Gd> обнаружен лишь один ГУ с энергией ионизации $E_c+0.32$ эВ, эффективность образования которого также зависит от $T_{\text{диф}}$ и $v_{\text{охл}}$.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что диффузионное введение примеси гадолиния в монокристаллический кремний приводит к образованию четырех глубоких уровней с фиксированными энергиями ионизации $E_c-0.23$ эВ, $E_c-0.35$ эВ, $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.54$ эВ. При этом уровень $E_c-0.23$ эВ наблюдается и в контрольных термически обработанных образцах без Gd, так можно сделать вывод, что этот уровень не связан с атомами гадолиния, а является дефектом термообработки.

Literatura

1. V.V.Yemsev, V.V.Yemsev (ml.), D.S.Poloskin, N.A.Sobolev, Ye.I.Shek, Y.Mixel, I.S.Kimerling, Fiziki i texniki poluprovodnikov, 33, 6, 649 (1999).
2. S.K.Lazaruk, A.V.Mudryy, A.V.Ivanyukovich, A.A.Leshok, D.N.Unuchek, Fiziki i texniki poluprovodnikov, 39, 8, 927 (2005).
3. I.V.Zolotuxin, Yu.Ye.Kalinin, O.V.Stongey, *Novyye napravleniya fizicheskogo materialovedeniya*, (Voronej, Voronejskiy gosuniversitet, 2000).
4. B.I.Boltaks, M.K.Baxadyrханов, S.M.Gorodetskiy, G.S.Kulikov, *Kompensirovannyy kremniy*, (Leningrad, Nauka, 1972).