



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ ПЛЕНОЧНЫХ
СТРУКТУР С P–N-ПЕРЕХОДОМ НА
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕМНИЕВОЙ
ОСНОВЕ**

РАЙИМЖОН АЛИЕВ, Д.Т.Н.,
ЭРКИН МУХТАРОВ

Андижанский Государственный
Университет, Узбекистан

Title: *USE PROSPECTS IN MICROELECTRONICS FOR POLYCRYSTALLINE SILICON FILM STRUCTURES WITH p–n JUNCTION*

UDC: 621.592

Key words: Polycrystalline silicon, grain boundaries, ion-implantation, microelectronics, negative differential resistance, photodiode, I-V characteristics

Annotation: The paper discusses perspectives of elaborating microelectronic and optoelectronic devices on polycrystalline silicon films. The I-V features of structures with p-n-junction, formed by using methods of p-type conductivity layer grow, thermal diffusion and ion-implantation of boron atoms into n-type polycrystalline silicon layer are compared. The I-V feature with S-form curve of the investigated structures conditioned by changing of the conductivities of base and grain boundaries under thermal processing are revealed.

Границы зерен (ГЗ) в поликристаллическом кремнии (ПК) характеризуются высокой плотностью поверхностных состояний (ПС), специфическим спектром глубоких энергетических уровней в запрещенной зоне и степенью их заполнения рядами.

Высокотемпературные обработки, являющиеся неизбежными в процессе подготовки базовых пластин и изготовления на их основе приборов электронной техники, приводят к изменению всех трех вышеуказанных характеристик ГЗ. Такие изменения в свою очередь оказывают существенное влияние на процессы генерации-рекомбинации неравновесных носителей заряда и их разделение на контактно-барьерных полях, служащих основанием любого электронного прибора. Исследовательская практика показывает, что наиболее влияющими на процессы переноса носителей заряда в приборных структурах факторами являются режимы термической обработки (ТО) пластин, проводимой при формировании на них эффективного p–n перехода.

В связи с этим представляет интерес исследование процесса переноса носителей заряда в пленочных ПК структурах при формировании на них p–n- перехода методами, различающимися условиями высокотемпературных операций, что является основной целью данной работы.

Рассмотрим результатов экспериментального анализа процессов переноса носителей заряда в структурах, полученных на основе p⁺- и n⁺-пленок ПК. Базовый n-слой с удельным сопротивлением $\rho \sim 0,1$ Ом·см и толщиной 40 мкм был получен водородным восстановлением тетрахлорида кремния при температуре $T=1200$ °C в вертикальном реакторе на n⁺-подложках из металлургического кремния (Абакумов и др., 1977) с удельным сопротивлением $\rho \sim 0,01$ Ом·см. Размеры зерен в поликристаллической подложке

составляли >300 мкм, а выращенный n-слой повторял структуру подложки, и размеры зерен в нем колебались в пределах $300 \div 2000$ мкм.

Формирование p⁺-n-перехода в образцах осуществлялось тремя способами: - осаждением из газовой фазы p⁺-слоя толщиной ~ 2 мкм при температуре 1200 °C; - термодиффузией атомов бора на глубину $0,5 \div 1,5$ мкм при температуре 1100 °C; - ионной имплантацией атомов бора с энергией 75 кэВ с последующим отжигом при 800 °C, что давало конечную глубину залегания p–n-перехода на уровне 0,75 мкм.

Уровень легирования p⁺-слоя во всех случаях обеспечивался примерно одинаковым и контролировался поверхностным сопротивлением $R_0 \sim 50 \pm 5$ Ом/кв. На полученных структурах с размерами 5×5 , 2×2 , 1×1 мм² в идентичных условиях формировали омические контакты к n⁺- и p⁺-областям и проводили термостатированные измерения темновых вольт-амперных характеристик (ВАХ) и вольт-емкостных характеристик (ВЕХ) на частоте $f = 100$ кГц. Темновые ВАХ p⁺-n-структур площадью 5×5 мм² с p–n-переходами, изготовленными эпитаксией и диффузией, приведены на Рисунке 1. Видно, что в области смещений $20 < qU/kT < 50$ в пропускном направлении у обоих образцов имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС). На ВАХ структур с ионно-имплантированным p–n- переходом (Рисунок 2) участок с ОДС отсутствует.

Отметим, что эти образцы до отжига радиационных дефектов характеризуются наличием сублинейного участка ВАХ. Сублинейный участок ВАХ в пропускном направлении наблюдается обычно в p⁺-n-n⁺ структурах с n-базой, где осуществлена компенсация глубокими примесями (Муминов и др., 1985).

РИСУНОК 1. ВАХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕМНИЕВЫХ P^+-N-N^+ -СТРУКТУР С $P-N$ -ПЕРЕХОДАМИ, СФОРМИРОВАННЫМИ ЭПИТАКСИЕЙ (КРИВЫЕ 1 И 1^1) И ДИФфуЗИЕЙ (КРИВЫЕ 2 И 2^1). КРИВЫЕ 1 И 2 - ПРЯМЫЕ ВЕТВИ ВАХ, КРИВЫЕ 1 И 1^1 - ОБРАТНЫЕ

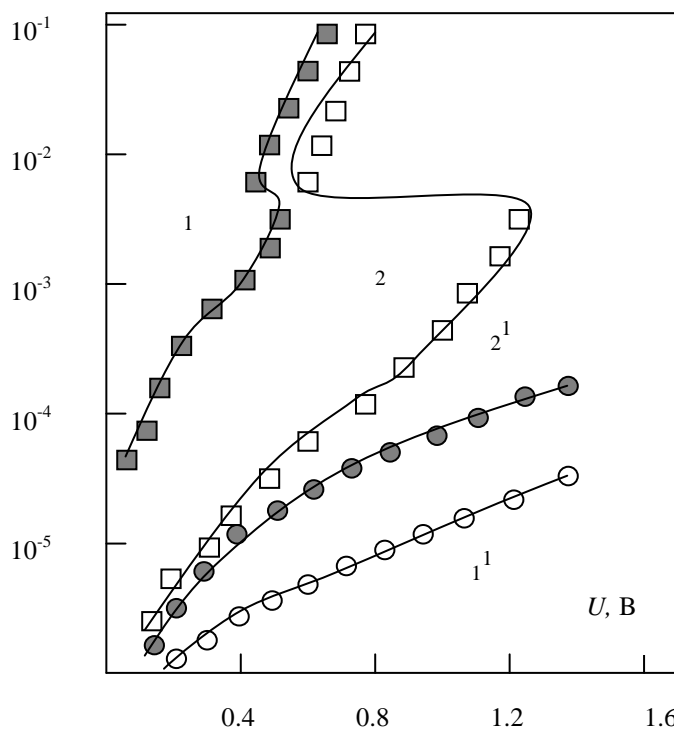
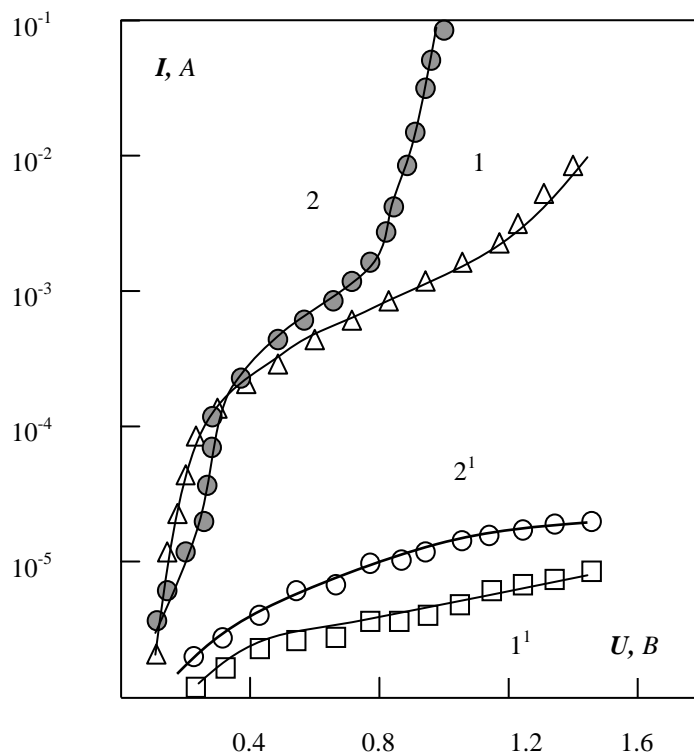


РИСУНОК 2. ВАХ P^+-N-N^+ -СТРУКТУР С ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫМ $P-N$ -ПЕРЕХОДОМ. КРИВЫЕ 1 И 2 – ПРЯМЫЕ ВЕТВИ ВАХ, КРИВЫЕ 1^1 И 2^1 – ОБРАТНЫЕ



В нашем случае сублинейная ВАХ преобразуется в S-образную характеристику с напряжениями срыва, лежащими для большой группы образцов (из 1200 штук) в пределах $0,65 \pm 1,2$ В. Наблюдаемый эффект обусловлен, очевидно, следующим: в пленочных ПК структурах р–п-переход шунтируется дополнительным n^+ -каналом, образующимся на ГЗ за счет сегрегации примеси фосфора, которой легирован п-слой, на высокотемпературной операции создания р–п-перехода. Это происходит потому, что, во-первых, коэффициент сегрегации бора в кремнии в 2 ± 3 раз выше, чем у фосфора (Георгиев и др., 1990), и, во-вторых, коэффициент диффузии фосфора по ГЗ в $3,5 \pm 3,8$ раз превышает значение, характерное для объема, т.е. внутри зерна (Зи, 1973).

При небольших величинах приложенного напряжения сопротивление этого канала намного меньше сопротивления р–п-перехода и ток протекает преимущественно по ГЗ. Немаловажную роль при этом играют ПС - электронные ловушки на ГЗ в п-слое. Высокотемпературная обработка приводит к увеличению степени заполнения ПС, что сопровождается увеличением объема области обеднения вплоть до размеров, сопоставимых с объемом зерна. В такой ситуации с ростом подаваемого напряжения уменьшается концентрация носителей заряда в объеме полупроводника за счет их эксклюзии (Викулин и Стафеев, 1980), а дифференциальное сопротивление р-п перехода возрастает.

С ростом общего тока через ПК p^+-n-p^+ -структуру сопротивление р–п-перехода уменьшается и происходит перераспределение токов, протекающих по каналу на ГЗ и через р–п-переход. Это сопровождается резким увеличением инжекции носителей заряда в п-слой, и возникающая положительная обратная связь по току [6] создает условия роста проводимости п-слоя с увеличением тока.

В результате на ВАХ исследуемой структуры образуется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) в прямом направлении смещения.

Известны различные модели возникновения S-образной ВАХ диодных структур (Викулин и др., 2008), основная из которых объясняет этот эффект увеличением времени жизни инжектированных носителей заряда в компенсированном глубокими примесными центрами полупроводнике. Предполагалась, что и в исследуемых структурах имела место диффузия примесей, дающих глубокие уровни, из p^+ -подложки в п-слой. Поэтому нами проводились измерения ВЕХ структур в диапазоне температур 77 ± 300 К.

Результаты указали на отсутствие или по крайней мере незначительную концентрацию глубоких примесных центров ($N_T \leq 10^{12} \text{ см}^{-3}$). Обнаруженный непрерывный спектр уровней в

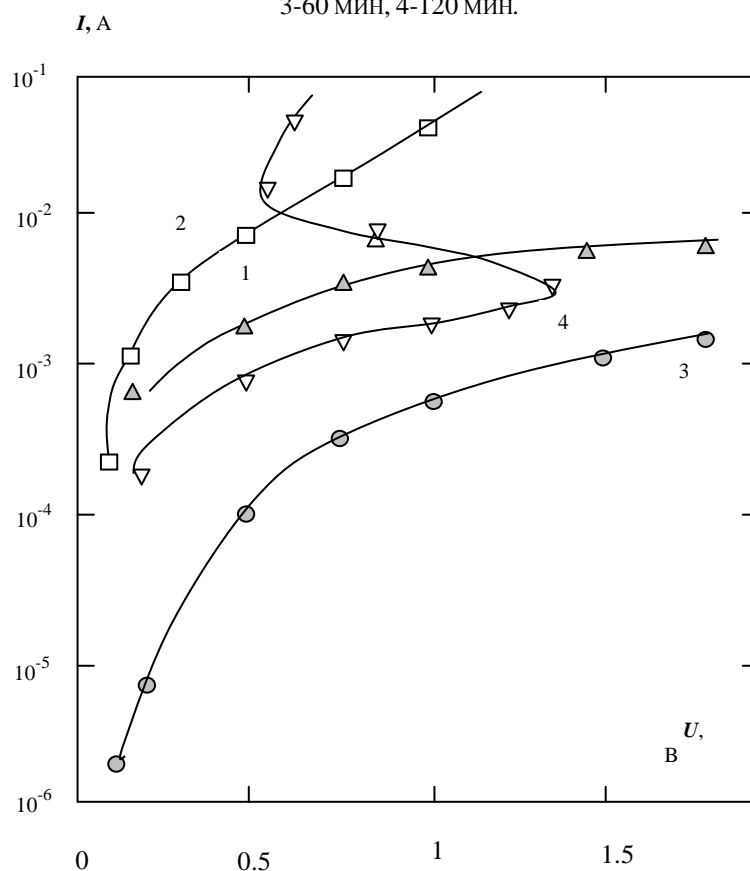
интервале энергии $E_C - E = -0,2$ эВ, связанный наряду с примесными уровнями и с ПС на ГЗ и комплексами дефектов на них, безусловна указывает на их возможный вклад в формирование механизма переноса носителей заряда в пленочных ПК структурах. Однако основной причиной возникновения S-образной ВАХ, по нашему мнению, является шунтирующие р–п-переход каналы вдоль ГЗ (Алиев, 1997).

Подтверждением правомочности предложенного механизма являются результаты измерений пленочных ПК p^+-n-p^+ -структур с ионно-имплантированным р–п-переходом, которые намеренно подвергали длительному отжигу при $T = 800^\circ \text{C}$. Как видно из графика (Рисунок 3), на прямых ветвях ВАХ р–п-перехода, полученного ионным внедрением бора с энергией $E = 75$ КэВ и дозой $D = 10^3 \text{ мКл/см}^2$ в $n-p^+$ -структуру и последовательной термической обработки при температуре $T_{отж} = 800^\circ \text{C}$ с длительностью отжига ≥ 60 мин (кривые 3 и 4) образуется п-канал, шунтирующий р–п-переход, и S-образная ВАХ наблюдается почти на всех ионно-имплантированных образцах. В поддержку предложенного механизма можно привести и факт отсутствия S-образных ВАХ у образцов малого размера ($\leq 1 \text{ мкм}$), в которых ГЗ по микроскопическим наблюдениям либо отсутствуют, либо имеют малую плотность.

С применением методики анализа ВАХ в области объемного заряда, на исследуемых структурах оценивали эффективную скорость поверхностной рекомбинации $S_{эф}$ носителей заряда. Так, на структурах с р–п-переходом, сформированным методом выращивания пленок с разнотипной проводимостью, значение $S_{эф}$ составляло до $5 \times 10^4 \text{ см/с}$, а на диффузионных структурах $\sim 10^3 \text{ см/с}$. Более высокое значение $S_{эф}$ у структур с р–п-переходом, сформированным осаждением из газовой фазы, связано с более высокой степенью заполнения ПС электронами, что вызвано соответственно более высокой температурой операции создания р–п-перехода. На структурах с ионно-имплантированным р–п-переходом $S_{эф}$ составляет до отжига радиационных дефектов величину $2,7 \times 10^4 \text{ см/с}$ и после отжига $5 \times 10^2 \text{ см/с}$. Очевидно, что высокое значение $S_{эф}$ и появление сублинейного участка ВАХ до отжига у этих структур обусловлено именно введением в объем зерна радиационных дефектов на операции ионной имплантации.

Полученные результаты позволяют считать, что для снижения влияния ГЗ на перенос носителей заряда в пленочных ПК структурах целесообразно формировать р–п-переходы в них ионным легированием с последующим кратковременным отжигом дефектов.

РИСУНОК 3. ПРЯМЫЕ ВЕТВИ ВАХ Р-Н ПЕРЕХОДА, ПОЛУЧЕННОГО ИОННЫМ
ВНЕДРЕНИЕМ БОРА С ЭНЕРГИЕЙ $E=75$ КЭВ И ДОЗОЙ $D=103$ МККЛ/СМ² В N-N+
СТРУКТУРУ. ТОТЖ = 800 ОС; ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОТЖИГА: 1-БЕЗ ОТЖИГА, 2-5 МИН,
3-60 МИН, 4-120 МИН.



Полученные результаты указывают также на возможность создания на основе ПК структур полупроводниковых приборов с S-образной ВАХ, в технологии которых целесообразно применять сочетание термообработок с ионным легированием и другие приемы, приводящие к управляемому изменению проводимости ГЗ и зарядовых состояний, а также к компенсации ПС. Очевидно, что на пленочных кремниевых поликристаллических структурах возможно изготовление S-диодов, инжекционных фотоприемников, оптоэлектронных фильтров и т. п.

Литература

- Абакумов, А., Карагеоргий-Алкалаев, П., Каримова, И., 1977. В кн. «Физические явления в полупроводниковых структурах с глубокими уровнями и оптоэлектроника», Ташкент, Фан, С. 3-23.
- Алиев, Р., 1997. «Инжекционное усиление фототока в поликристаллических кремниевых p^+-n-n^+ структурах», Физика и

Техника Полупроводников, 1997, т. 31, N.4.С. 425-426.

Викулин, И., Стафеев, В., 1980. Физика полупроводниковых приборов, Москва, Советское радио.

Викулин, И., Курмашев, Ш., Стафеев, В., 2008. «Инжекционные фотоприемники», Физика и Техника Полупроводников, т. 42, вып. 1, С. 113-127.

Георгиев, В. и др., 1990. «Межкристаллитные границы и свойства поликристаллического кремния», «Поверхность», N 9, С. 5-21.

Зи, С., 1973. Физика полупроводниковых приборов, Пер. с англ., Москва, Энергия.

Мўминов, Р., Ахмедов, Ф., Касимова, Т., 1985. «К диффузии примесей по границам зерен в поликристаллическом кремнии», «Гелиотехника», № 1, С. 67-69.