



SCIENTIFIC BULLETIN

PHYSICAL AND MATHEMATICAL RESEARCH

**ILMIY HABARNOMA
FIZIKA-MATEMATIKA
TADQIQOTLARI**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Физика

С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.С. САИДОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ	
Получения, морфология и фотоэлектрические свойства гетероструктуры $n\text{-Si}-p\text{-(Ge}_2\text{)}_{1-x-y}\text{(GaAs)}_x\text{(ZnSe)}_y$	7
Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, К.А. ИСМАЙЛОВ, С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, З.Т. КЕНЖАЕВ, Б.К. ИСМАЙЛОВ	
Влияние легирования никелем на спектральную чувствительность кремниевых солнечных элементов	16
М.Ш. ИСАЕВ, А.Т. МАМАДОЛИМОВ, Ш.К. АКБАРОВ	
Структура приповерхностного слоя диффузационно-легированного кремния атомами хрома и кобальта.....	21
М.В. TAGAEV, A.A. ABDREYMOV, U.D. BAIRAMOV	
Kremniyli p-n o'tishda mikroplazmalarning shakllanishi.....	27
М.В. FOZILJONOV, I.N. KARIMOV, A.E. ABDIKARIMOV	
Influence of the local trapped charge in oxide to the gate - drain capacitance in a FinFET	33
Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, И.М. СОЛИЕВ, Х.Ж. МАНСУРОВ	
Рентгеноструктурные исследования кремния марки КДБ-20 с участием кислорода.....	37

Техника

Р.А. МУМИНОВ, В.Г. ДЫСКИН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Н. БУТУНБАЕВ, К.А. ДЖУМАМАРУТОВ	
К вопросу применения гидрофобных плёнок для пассивной очистки фронтальной поверхности фотоэлектрических модулей.....	42
С. ЗАЙНАБИДИНОВ, Б. УРМАНОВ, С. АЛИЕВ	
Разработка конструкции нового солнечного осветительного устройства.....	47
С.С. НАСРИДДИНОВ, А.К. ХАМРАКУЛОВ, Н.Т. МОВЛОНОВ, М.И. МАННАНОВ	
Метод определения удельного сопротивления почвы.....	53
Ш.А. ГУЛАМОВ, Г.М. МҮМИНОВА	
Легирланган ва лнгирланмаган қўға ўсимлиги толаларини таййорлаш хамда уларнинг оптоэлектроник хоссалари тадқиқ қилиш усуллари.....	58

Математика

А.К. УРИНОВ, Д.А. УСМОНОВ	
Нелокальная задача для вырождающегося уравнения второго порядка, содержащего интегро-дифференциальный оператор дробного порядка с функцией бесселя в ядре.....	64
N. UMRZAQOV, I.S. ZAYNABIDDINOV	
On a pursuit differential game with integral constraints in R^n	75
Д.Д. АХМЕДОВА	
Динамические системы симплекса квадратичных гомеоморфизмов.....	83

Ф.А. ЮСУПОВ, Д.Д. АХМЕДОВА	
Инвариантность некоторых стохастических квадратичных операторов неволтеррного типа в двухмерном симплексе.....	87
<u>Информатика</u>	
Р.К. АЗИМОВ, Б.Р. АЗИМОВ	
Машинали ўқитишда регрессия усуллари.....	90
М.К.МАХКАМОВ, Х.А.МАМАДАЛИЕВ, Ш.Ш.ХОЖИКУЛОВ	
Метод Фурье для исследования распространения волны уплотнения в трубопроводах установленном демпфером.....	96
Ғ.О. ТАЖИБАЕВ, М.М. МИРЗАЕВА, Ш.О. ТҮРАХОНОВА.	
Юпқа пластина эгилиши масаласини интегралли усулда ечишда чегаравий шартларга боғлиқ бўлган маҳсусликни эътиборга олиш.....	104
<u>Персоналии</u>	
Академиг М.Мусахонов 80 ёшда.....	111
<i>Правила оформления статьи</i>	113

Структура приповерхностного слоя диффузионно-легированного кремния атомами хрома и кобальта

М.Ш.Исаев¹, А.Т. Мамадолимов¹, Ш.К. Акбаров²

¹Национальный университет Узбекистана им. М.Улугбека, Ташкент, 100174 Узбекистан.

²Андижанский государственный университет им. З.М.Бабура, Андижан, 170100 Узбекистан.

Получена 3 апреля 2023 г. Принята к печати 24 апреля 2023 г.

Аннотация. Установлено образование примесных скоплений, представляющих собой вторую фазу на поверхности диффузионного легированного кремния атомами хрома и кобальта. На основе изучения морфологии поверхности методом электронной и ИК- микроскопии определены размеры скоплений, достигающих до 30-40 мкм на поверхности и уменьшающиеся вглубь кристалла. Качественный и количественный анализ показал, что на поверхности исследуемых кристаллов присутствуют атомы легируемого атома и кремния. В некоторых кристаллах обнаружена зернистая структура, объясняемая условием проведения диффузии. Установлено, что приповерхностная область легированных кристаллов на основе рентгеноструктурного анализа имеет поликристаллическую структуру, а объемная часть монокристаллическую. Показано образование силицидов хрома и кобальта при легировании кремния атомами хрома и кобальта, соответственно. Экспериментально показано, что силициды металлов образуются в приповерхностной области на глубине 35-40 мкм легированного кремния.

Ключевые слова: морфология, примесные скопления, вторая фаза, легирование, поликристалл, монокристалл, силициды, глубокие уровни, диффузант, закалка.

Annotatsiya. Xrom va kobalt atomlari bilan diffuziyalangan kremniy yuzasida ikkinchi faza bo'lgan kirishmali birikmalarin shakllanishi aniqlangan. Elektron va IQ mikroskop yordamida sirt morfologiyanini o'rganish asosida klasterlarning o'lchamlari aniqlandi, ular sirtda 30-40 mkm gacha yetib, kristall chuqurligiga kichraydilar. Sifat va miqdoriy tahlil shuni ko'satdiki, o'rganilayotgan kristallar yuzasida legirlangan atom va kremniy atomlari mavjud. Ayrim kristallarda diffuziya sharti bilan izohlanadigan donador struktura topilgan. Difraksion tahlil asosida legirlangan kristallarning sirtga yaqin hududi polikristal tuzilishga ega ekanligi, asosiy qismi esa bir kristalli tuzilishga ega ekanligi aniqlangan. Xrom va kobalt silisidlarining hosil bo'lishi kremniyi mos ravishda xrom va kobalt atomlari bilan qo'shganda ko'rsatiladi. Eksperimental ravishda metall silisidlar 35-40 mikron legirlangan kremniy chuqurligida yuzaga yaqin sohada hosil bo'lishi ko'rsatilgan.

Kalit so`zlar. morfologiya, kirishmalarining to'planishi, ikkinchi faza, legirlash, polikristal, monokristal, silisidlar, chuqur sathlar, diffuzant, qattiqlashuv.

Annotation. The formation of impurity clusters representing the second phase on the surface of diffusion doped silicon with chromium and cobalt atoms has been established. Based on the study of surface morphology by electron and IR microscopy, the sizes of clusters reaching up to 30-40 microns on the surface and decreasing deep into the crystal were determined. Qualitative and quantitative analysis showed that atoms of the alloyed atom and silicon are present on the surface of the studied crystals. In some crystals, a granular structure was found, explained by the condition of diffusion. It is established that the near-surface region of doped crystals based on X-ray diffraction analysis has a polycrystalline structure, and the bulk part is monocrystalline. The formation of chromium and cobalt silicides is shown when silicon is doped with chromium and cobalt atoms, respectively. It has been experimentally shown that metal silicides are formed in the near-surface region at a depth of 35-40 microns of doped silicon.

Keywords: morphology, impurity accumulations, second phase, alloying, polycrystal, single crystal, silicides, deep levels, diffusant, quenching.

Введение

Современный научно-технический прогресс в значительной степени определяется развитием микро-электроники и наноэлектроники достижения которой напрямую зависят от успехов фундаментальных наук, в первую очередь физики твердого тела и физики полупроводников. Последние достижения в этих областях связаны с физикой легированных полупроводников и созданием технологий получения микро- и наноструктур с принципиально новыми функциональными

возможностями для компьютерной и измерительной техники, средств связи, гелиотехники, космоса и др.

В связи с этим исследования физических процессов, происходящих как в объеме, так и на поверхности и в приповерхностных слоях монокристаллического полупроводника, в частности, кремния в процессе диффузионного легирования примесями, создающие глубокие уровни и получения компенсированных материалов с заданными электрофизическими, тензоэлектрическими, фотоэлектрическими и

оптическими свойствами являются актуальными задачами сегодняшнего дня [1-5].

Хорошо разработанная технология выращивания монокристаллического кремния, планарная технология создания интегральных приборов на его основе, принципиально новая технология создания объектов пониженной размерности в кремнии, модификация свойств различными методами, а также обнаружение новых физических явлений, не характерных для объемного кремния, привлекает пристальное внимание исследователей в качестве активного материала для нужд микро- и нанотехнологии.

В настоящее время силициды переходных металлов становятся базовым материалов для новых, перспективных технологических схем будущих поколений в связи с их стойкостью к агрессивным средам и высокотемпературным обработкам [3]. Поэтому комплексное исследование механизма вхождения примесей в объем кристалла и их взаимодействия как с матричными атомами кристалла, так и с технологическими примесями является актуальным. С этой точки зрения исследование формирования силицидов в поверхностной области кремния при диффузионном легировании и разработка новых полупроводниковых приборов на их основе имеет особое научное значение в контексте создания новых материалов для микро- и наноэлектроники.

В данной работе нами исследованы структура аномального приповерхностного слоя диффузионно-легированного кремния атомами хрома и кобальта.

Методика эксперимента

Хром и кобальт имеет большой коэффициент диффузии в кремнии, поэтому мы пользовались диффузионным методом легирования. Этот метод имеет и ряд других преимуществ: 1) относительная простота технологии; 2) возможность исследования влияния температуры отжига на исходные параметры кристалла; 3) возможность регулирования концентрации электрически активных атомов хрома и кобальта, путем изменения температуры.

Для легирования кремния хромом и кобальтом использовались слитки монокристалла кремния как р-типа марки КДБ-10, так и п-типа марки КЭФ-20, выращенного методом Чохральского. Их исходные параметры таковы: для кремния п-типа-удельное сопротивление $\rho=20$ Ом·см, подвижность электронов $\mu_n = 1430$ см²/В·с, концентрация

электронов $n=2,4 \cdot 10^{15}$ см⁻³, для кремния р-типа-удельное сопротивление $\rho=10$ Ом·см, подвижность дырок $\mu_p = 430$ см²/В·с, концентрация дырок $p=1,5 \cdot 10^{15}$ см⁻³, концентрация кислорода $\leq 1 \cdot 10^{17}$ см⁻³.

Из слитков монокристалла кремния алмазным диском вырезали образцы в виде параллелепипеда размером $(1\div2) \times (2\div5) \times (10\div30)$ мм³. Образцы шлифовали с применением микропорошка карбида кремния М-5, М-10, М-14. С целью удаления нарушенного при шлифовке поверхностного слоя, образцы обезжиривали в толуоле при температуре 40-50°C и подвергали химическому травлению в растворе 1HF:5HNO₃ в течение 1÷2 минут, промывали в деионизованной воде и сушили при температуре не более 100°C. Образцы кремния помещали в количестве 3 шт. в кварцевые ампулы, предварительно промытые в растворе HNO₃:3HCl и прокипяченные в дистиллированной воде.

Массу легирующего атомов металла определяли из уравнения Менделеева-Клапейрона: $pV = mRT\mu^{-1}$. Отсюда $m = pV\mu R^{-1}T^{-1}$, где p -давление пара металла в ампуле, которое равно $1 \cdot 10^{-2} \div 2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. при T=1000÷1250°C. Определенная таким образом масса металла составила 3 мг. Масса металла не ограничена в большую сторону, т.е. используется не менее 3мг. В ампулу помещали порошок металла чистоты 99,99% в количестве 3÷5мг. Ампулы с образцами и диффузантом откачивали до вакуума $\sim 10^{-3}$ мм рт.ст. ($1,33 \cdot 10^{-1}$ Па) и запаивали. Затем ампулы помещали в горизонтальную печь и производили отжиг при температуре 1050÷1070°C в течение от 20 мин. до 2 часов. Колебания температуры в рабочей зоне печи не превышали $\pm 5^{\circ}\text{C}$. После отжига образцы закаливали охлаждением со скоростью 100-150 град/с сбрасыванием ампул в воду и выдерживали до температуры кристалла T=15-20°C. После вскрытия ампул поверхность образцов имела проводимость р-типа. Для того, чтобы оценить влияние термообработки на электрические свойства, при тех же условиях (температуры и времени) отжигались контрольные образцы без диффузанта.

Результаты и обсуждение

Перед исследованием структуры приповерхностного слоя образцов проводились замеры поверхностного сопротивления на всех поверхностях кристаллов с помощью четырехзондового метода. Измерения показали, что поверхностные сопротивления всех сторон легированных кристаллов были низкоомными,

по сравнению с поверхностными сопротивлениями R_s исходных кристаллов (то есть подвергавшиеся, а также не подвергавшиеся термообработке кристаллов без примеси) [6].

В связи с тем, что образцы имели поверхностный слой с высокой проводимостью, для исключения шунтирующего влияния образцы сошлифовались с трех сторон на глубину порядка 50-200 мкм. К двум противоположным несошлифованным торцам подключались электрические контакты, а на лежащей между ними несошлифованной поверхности проводились измерения при последовательном удалении тонких слоев. Профили проводимости имеют два участка – приповерхностный с повышенной проводимостью и объемный – с проводимостью, близкой к собственной. Параллельные измерения проводимости и эффекта Холла при температурах $T=77-300$ К показали, что приповерхностный слой имеет проводимость р-типа, с концентрацией носителей $\sim 10^{20} \div 10^{21}$ см⁻³ и холловскую подвижность $\mu_H = 2 - 6$ см²/В · с, а объемный – проводимостью i-типа, с концентрацией носителей $10^{10} \div 10^{12}$ см⁻³ и подвижностью $\mu_H = 300 - 700$ см²/В · с. Такое же распределение проводимости (р-типа с концентрацией $p \approx 10^{20} \div 10^{21}$ см⁻³) получалось в приповерхностном слое при легировании хромом и кобальтом исходного кремния n-типа. Однако при этом объемная концентрация носителей в глубине образца почти не изменялась (относительно исходного кремния) [6, 7].

Выявлено противоречие между величиной растворимости хрома и кобальта в кремнии при температуре диффузионного насыщения и концентрацией хрома и кобальта в приповерхностном слое, а также типом проводимости носителей тока между объемной и приповерхностной областями. Для нахождения причины такого противоречия исследовали структуру приповерхностного слоя диффузионно-легированного кремния атомами хрома и кобальта. Растворным электронным микроскопом (РЭМ-200) производилось визуальное наблюдение изображения структуры поверхности диффузионно-легированного кремния различными атомами.

При этом формируется тонкий электронный пучок с заданными параметрами и контролируется за его перемещением. Пучок электронов, передвигаясь по образцу диффузионно-легированного кремния,

образуется растр на экране дисплея. Сигнал от образца модулирует яркость луча в электронно-лучевой трубке. Этот луч сканирует синхронно с электронным пучком, в результате чего на экране получается изображение поверхности образца. Исследования показали, что на поверхности образца существуют блочные структуры и между ними имеются межфазные границы. Разрешение в РЭМ зависело от атомного номера легируемого элемента и достигало ~ 100 Å. Оценка поперечного размера между блоками показали, что он имеет порядка 1000 Å.

Изучались такие образцы на инфракрасных микроскопах типа МИК-1 и МИК-4. Установлено, что на поверхности легированного образца образуются сплошные структуры непрозрачные для инфракрасных лучей. При снятии с поверхности слоя толщиной более 3 мкм наблюдается сеточная структура (рис.1) т.е. чередующиеся прозрачные и непрозрачные области для ИК-лучей.

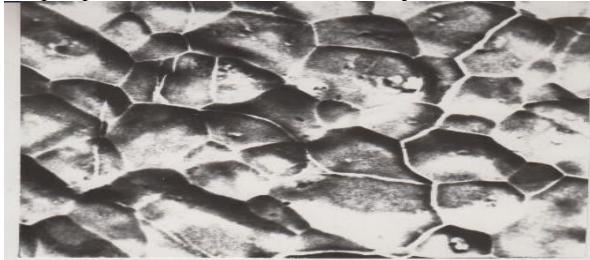


Рис.1. Микрофотография полупроводниковых силицидов на поверхности кристалла (увеличение 1400 x).

С целью выяснения химического состава наблюдаемых блочных структур были проведены качественный и количественный анализ на микроанализаторе «Самеса» MS-46. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ, ток через образец 20 нА. Электронный зонд микроанализатора сфокусированный диаметром до 3 мкм взаимодействует с образцом и по характерным рентгеновским излучениям изучался элементный состав Si<Cr>, Si<Co>. В пределах чувствительности установки наличия элементов Au, Ag, Ni, Mn, Fe не обнаружены. На фоне сигнала от кремния фиксировалось наличие скоплений хрома, кобальта, размеры которых доходили до 30-40 мкм. При последовательном снятии слоев интенсивность сигнала, обусловленный примесными скоплениями уменьшалась и выявлялись отдельные зерна примесных включений. При удалении с поверхности более 25-30 мкм сигнал, обусловленный с примесных атомов исчезал на

фоне сигнала от кремния. Эти исследования показали, что примесные скопления представляют собой вторую фазу. Содержание легирующего элемента различно не только между областями примесных скоплений, но и внутри них. Размеры скоплений зависят от их месторасположения от внешней поверхности образца. Исследования на образцах $\text{Si}\langle\text{Cr}\rangle$ и $\text{Si}\langle\text{Co}\rangle$ показали, что полученные результаты в образцах $\text{Si}\langle\text{Mn}\rangle$ [9] характерны и для них. Следует отметить, что в отдельных образцах в исходной поверхности имелась зернистая структура, что по-видимому связано с условиям проведения диффузии, в частности с неглубоким вакуумом. Фазовый рентгеноструктурный анализ основан на том, что каждая фаза имеет свою специфическую кристаллическую решетку с определенными параметрами, дающую на рентгенограмме свои линии. Поэтому в общем случае при съемке вещества, представляющего собой смесь нескольких фаз, получается рентгенограмма на которой присутствуют линии всех фаз, входящих в состав образца. Рассчитав и проиндуктировав линии рентгенограммы можно получить данные о качественном фазовом составе исследуемого вещества. Применив специальные методы фазового анализа можно определить не только качественный, но и количественный анализ.

Рентгенограмма диффузионнолегированного кремния атомами хрома и кобальта показала, что в таких кристаллах обнаруживается кольца, наблюдаемые при дифракции на мелких зернах случайно ориентированных кристаллитов и пятна, наблюдаемые при дифракции на крупнозернистых поликристаллических пленках, имеющих некоторую ориентацию. Рентгенограмма для объемной области кристалла показала, что она имеет монокристаллическую структуру. При измерениях рентгеновского поглощения исследуется зависимость поглощения, а в рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии образец облучают фотонами постоянной энергии, а затем измеряется кинетическая энергия электронов.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) представляет собой метод анализа поверхности, в котором используются как преимущество малой длины свободного пробега электронов в веществе, так и строго определенное для каждого элемента значение энергии связи дырки в глубоких атомных электронных оболочках. Здесь

наблюдается фотоэлектрический эффект при воздействии монохроматического рентгеновского излучения. Диапазон энергий фотонов, используемый в материаловедении, распространяется от 10 эВ до 0,1 МэВ. При этих энергиях фотоны могут взаимодействовать с электронами внутренних оболочек атомов твердого тела.

В основе метода РФЭС положено поглощение твердым телом кванта с энергией и испускание электрона, называемого фотоэлектроном, кинетическая энергия которого зависит от энергии связи электрона в атоме мишени. В этом процессе налетающий фотон передает всю свою энергию связанныму электрону и идентификация элемента производится измерением энергии электронов, вышедших из образца без потери энергии. Используемый в этом методе рентгеновский источник должен обеспечивать монохроматическое излучение с энергией, достаточной для ионизации внутренних оболочек всех химических элементов. При этом разрешающая способность прибора ограничивается шириной линии рентгеновского излучения, влияющего на ширину линии фотоэлектронного спектра. Поэтому для повышения разрешающей способности необходимо добиваться достаточной монохроматичности возбуждения. В качестве детектора электронов служит канальный электронный умножитель. При рентгеновском возбуждении возможен выход электронов в вакуум с достаточно глубоких внутренних орбиталей (K, L, M) при непосредственном воздействии электронов и фотонов с тех же орбиталей в результате Оже-процессов и с уровней валентной зоны. При этом фотоэлектроны могут генерироваться на достаточно большой глубине. Регистрируемый спектр внешнего фотоэффекта дает информацию лишь о приповерхностном слое, определяемом глубиной выхода фотоэлектронов, которая связана с длиной свободного пробега электрона и составляет порядка 5-30 Å в области энергии фотоэлектронов 10-2000 эВ. Следовательно, толщина зондируемой области не больше 30 Å, т.е. метод является поверхностночувствительным. Для рентгеновского анализа были подготовлены различные образцы: легированные при различных временах диффузии и с различной скоростью закалки, контрольные образцы.

На рис.2 представлена дифрактограмма кремния с кобальтом после термодиффузии при

температуре 1060°C в течении 30 мин.[8]. Из рис. видно, что наблюдаются острые пики дисилицида кобальта, что показывает образование силицида на кремниевой подложке в процессе химической реакции стимулированным теплом. Из рис. видно ряд острых пиков и растянутые хвосты в разрешенном диапазоне энергии, связанных с ионизацией внутренних атомных орбит.

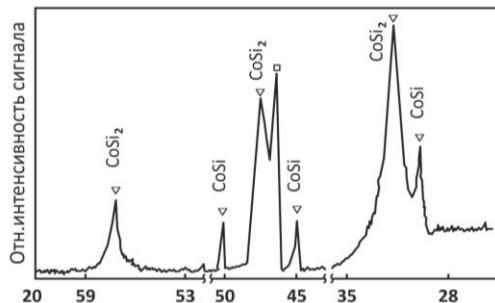


Рис.2. Рентгеновская дифрактограмма кремния с кобальтом. Т = 1060°C, t= 30 мин, v₃= быстрая

Пики соответствуют энергиям характеристических электронов, покидающих твердое тело без процессов, приводящий к потерям энергии. Хвосты со стороны большей энергии связи соответствуют электронам, претерпевшим неупругое рассеяние и потерю энергии на пути из образца и выходящим поэтому с меньшей кинетической энергией, что приводит к кажущемуся возрастанию энергии связи. Аналогичная дифрактограмма была получена и для кремния диффузионно-легированного хромом.

При последовательном снятии слоев с поверхности образцов интенсивности пиков сильно уменьшались или исчезали, что свидетельствует в пользу того, что процессы образования силицидов хрома и кобальта наиболее интенсивно происходят в приповерхностной области толщиной 35-40 мкм. Таким образом, в процессе диффузионного легирования кремния атомами хрома и кобальта в приповерхностной области образцов образуются соединения металла с кремнием-силициды. Структура силицидов металлов и природа их образования зависят от температуры диффузии, количества диффундирующих атомов, скорости охлаждения и глубины вакуума. [10].

Заключение

На основе изучения морфологии поверхности методом электронной и ИК-микроскопии, установлено образование примесных скоплений, представляющих собой вторую фазу на поверхности диффузионного

легированного кремния атомами хрома и кобальта. Определены размеры скоплений, достигающих до 30-40 мкм на поверхности и уменьшающиеся вглубь кристалла. Качественный и количественный анализ показал, что на поверхности исследуемых кристаллов присутствуют атомы легируемого атома и кремния. В некоторых кристаллах обнаружена зернистая структура, объясняемая условием проведения диффузии.

На основе рентгеноструктурного анализа установлено, что приповерхностная область легированных кристаллов имеет поликристаллическую структуру, а объемная часть монокристаллическую.

Показано образование силицидов хрома и кобальта при легировании кремния атомами хрома и кобальта, соответственно. Экспериментально показано, что силициды металлов образуются в приповерхностной области на глубине 35-40 мкм легированного кремния.

Литература

- [1] Болтакс Б.И., Бахадирханов М.К., Городецкий С.М., Куликов Г.С. Компенсированный кремний, - Л.: Наука. 1972. С.122
- [2] Зайнабидинов С. Физические основы образования глубоких уровней в кремний. – Т.: Фан – 1984. 160с.
- [3] Мьюорка Ш. Силициды для СБИС. М. 2013 – 176с.
- [4] Поут Дж., Ту К., Мейер Дж (ред). Тонкие пленки: Взаимная диффузия и реакции. М.2016. – 576с.
- [5] Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М.2012. – 352с.
- [6] Исаев М.Ш., Норов Ш.Г., Мажидов А.Д. Исследование гальвано-магнитных свойств приповерхностного слоя диффузионно-легированного кремния. Журнал. Электронная обработка материалов. Кишинев, 2006, с.80-83.
- [7] Мамадалимов А.Т., Исаев М.Ш., Исаев Ф.М., Хамдамов Б.И. Исследование электрофизических свойств пленок силицида платины на поверхности кремния. Журнал ДАН РУз. – Т.2010. - №6 – с.27-29.
- [8] А.Т.Мамадалимов, М.Ш.Исаев, А.Акбаров. Структура и фоточувствительность p⁺-i-p⁺ и p⁺-i-m структур на основе Si<CO> Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research 2022 Vol.4. Iss.2, p.40-44.

- [9] Касымов А.Х., Исаев М.И. Некоторые свойства силицида марганца Узбекский физический журнал. – Ташкент. 1995. - №5
- [10] Isaev M.Sh., Gaibov A.G., Eshkulov A.A., Saidachmetov P. Formation on Nanosized Films of Chromium silicides on silicon surface. Journal of Lecture Notes in Networks and Systems – 2021 vol 247, pp.1031-1041 (Scopus) maxmud-isaev@bk.ru
- [2] Zajnabidinov S. Fizicheskie osnovy obrazovanija glubokih urovnej v kremnij. – T.: Fan – 1984. 160s.
- [3] M'jurarka Sh. Silicidy dlja SBIS. M. 2013 – 176s.
- [4] Pout Dzh., Tu K., Mejer Dzh (red). Tonkie plenki: Vzaimnaja diffuzija i reakcii. M.2016. – 576s.
- [5] Fistul' V.I. Vvedenie v fiziku poluprovodnikov. M.2012. – 352s.
- [6] Isaev M.Sh., Norov Sh.G., Mazhidov A.D. Issledovanie gal'vano-magnitnyh svojstv pripoverhnostnogo sloja diffuzionno-legirovannogo kremnija. Zhurnal. Jelektronnaja obrabotka materialov. Kishinev, 2006, s.80-83.
- [7] Mamadalimov A.T., Isaev M.Sh., Isaev F.M., Hamdamov B.I. Issledovanie jelektrofizicheskikh svojstv plenok silicida platiny na poverhnosti kremnija. Zhurnal DAN RUZ. – T.2010. - №6 – s.27-29.
- [8] A.T.Mamadalimov, M.Sh.Isaev, A.Akbarov. Struktura i fotochuvst-vitel'nost' p+-i-p+ i p+-i-m struktur na osnove Si<CO> Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research 2022 Vol.4. Iff.2, p.40-44.
- [9] Kasymov A.H., Isaev M.Sh. Nekotorye svojstva silicida marganca Uzbekskij fizicheskij zhurnal. – Tashkent. 1995. - №5
- [10] Isaev M.Sh., Gaibov A.G., Eshkulov A.A., Saidachmetov P. Formation on Nanosized Films of Chromium silicides on silicon sur-face. Journal of Lecture Notes in Networks and Systems – 2021 vol 247, pp.1031-1041 (Scopus) maxmud-isaev@bk.ru

Structure of the Surface Layer of Diffusion-Doped Silicon with Chromium and Cobalt Atoms

M.Sh.Isaev¹, A.T. Mamadolimov¹, Sh.K. Akbarov²

¹National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek, Tashkent, 100174 Uzbekistan.

²Andijan State University named after Z.M.Babura, Andijan, 170100 Uzbekistan

Annotation. The formation of impurity clusters representing the second phase on the surface of diffusion doped silicon with chromium and cobalt atoms has been established. Based on the study of surface morphology by electron and IR microscopy, the sizes of clusters reaching up to 30-40 microns on the surface and decreasing deep into the crystal were determined. Qualitative and quantitative analysis showed that atoms of the alloyed atom and silicon are present on the surface of the studied crystals. In some crystals, a granular structure was found, explained by the condition of diffusion. It is established that the near-surface region of doped crystals based on X-ray diffraction analysis has a polycrystalline structure, and the bulk part is monocrystalline. The formation of chromium and cobalt silicides is shown when silicon is doped with chromium and cobalt atoms, respectively. It has been experimentally shown that metal silicides are formed in the near-surface region at a depth of 35-40 microns of doped silicon.

Keywords: morphology, impurity accumulations, second phase, alloying, polycrystal, single crystal, silicides, deep levels, diffusant, quenching

References

- [1] Boltaks B.I., Bahadirhanov M.K., Gorodeckij S.M., Kulikov G.S. Kompensirovannyj kremnij, - L.: Nauka. 1972. S.122

Сведения об авторах

Исаев Махмудходжон Шарипович – к.ф.-м.н., доцент кафедры “Физика полупроводников и полимеров” Национального университета Узбекистана им. М.Улугбека. Узбекистан,

Мамадолимов Абдулафур Тишибаевич-д.ф-м.н профессор Национального университета Узбекистана им. М.Улугбека. 100174, г. академик Академии Наук Республики Узбекистан доктор физико-математических наук, академик УзРФА

Акбаров Шухратжон Косимович - старший преподаватель кафедры физики Андижанского государственного университета имени З. М. Бабура., 170100, г.Андижан, Университетская ул., 129. Узбекистан.