

На правах рукописи

Белоус Игорь Александрович

**ВКЛАД ПОВЕРХНОСТНЫХ ФАЗ Si-Al, Si-In-Na, Si-Au
В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ КРЕМНИЯ.**

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Владивосток – 2003

Работа выполнена во Владивостокском государственном университете
экономики и сервиса

Научный руководитель - член-корреспондент РАН,
профессор Лифшиц В.Г.

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук,
Заводинский В.Г.

кандидат физико-математических наук,
Пивченко Е.Б.

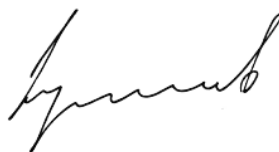
Ведущая организация - Институт автоматизации и процессов
управления Дальневосточного отделения
РАН

Защита состоится «__ мая» 2003 года в __ часов на заседании
диссертационного совета ДМ 005.002.02. в Амурском государственном
университете по адресу: 675027, г. Благовещенск, Игнатьевское Шоссе, 21

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АмурКНИИ.

Автореферат разослан «__» 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Лукичёв А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время кремний является базовым материалом в технологии современных интегральных микросхем. В связи с уменьшением размеров полупроводниковых приборов в современной микро- и наноэлектронике оказалось, что влияние поверхности (поверхностных фаз) на физические параметры является существенным.

Кроме научного интереса, изучение физических явлений на поверхности полупроводников имеет большое практическое значение, поскольку глубокое понимание физических причин, приводящих к изменению поверхностных свойств, может стимулировать разработку принципиально новых полупроводниковых приборов и приемов по эффективной стабилизации параметров существующих полупроводниковых устройств. Так, за последние 30 лет развитие технологии производства полупроводниковых приборов позволило уменьшить размер затвора более чем в 1000 раз и по современным прогнозам его размер к 2010 году достигнет значений несколько нанометров, что потребует использования поверхностных явлений в создании элементов наноэлектроники с использованием например, многослойных структур. Столь стремительное увеличение степени интеграции современных полупроводниковых приборов привело к увеличению внимания к процессам, происходящим на поверхности полупроводников, изучением которых занимается такая область физики конденсированного состояния – как физика поверхности.

Исследования упорядоченных поверхностных фаз (ПФ), сформированных на атомарно-чистой поверхности полупроводников, проводятся уже более чем 40 лет. С использованием таких методов изучения поверхности, как дифракция медленных электронов (ДМЭ), ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) и др., в том числе и самый современный - сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), уже проведено значительное количество исследований и к настоящему времени представлено большое количество публикаций о кристаллической и электронной структуре поверхностных фаз. Однако электрическая проводимость поверхностных фаз изучена еще явно недостаточно. Одной из главных причин этого является недостаточная проработанность методик определения электрофизических параметров ПФ. Дело в том, что измерение электрических свойств ПФ требуется проводить только в условиях сверхвысокого вакуума (СВВ), когда исследователь имеет дело с атомарно-чистой

поверхностью подложки. Вынос таких образцов на воздух приводит к разрушению кристаллической и электронной структуры поверхностных фаз, и, следовательно, к изменению их электрофизических параметров. Кроме того, пока остается неясным сам механизм поверхностной проводимости. Отсутствует ясное понимание роли поверхностных фаз в проводимости приповерхностных слоев монокристаллических полупроводников (в том числе и кремния) с адсорбатами. Не проводились исследования роли «монокристалличности» ПФ в поверхностной проводимости.

Целью диссертационной работы являлось исследование электрической проводимости поверхностных фаз Si-Al, одно- и трехдоменной ПФ Si(111)5×2-Au; влияния адсорбции атомов натрия на поверхностную фазу Si(111)4×1-In. Для этого было необходимо решить следующие основные задачи:

1. Сконструировать четырех- и двухзондовую измерительные приставки для проведения электрических измерений в условиях сверхвысокого вакуума *in situ*.
2. Разработать систему автоматизации измерений электрической проводимости поверхностных фаз.
3. Предложить методику измерения электрической проводимости поверхностных фаз Si-Al.
4. Исследовать влияние адсорбции атомов натрия на поверхностную фазу Si(111)4×1-In при комнатной температуре.
5. Исследовать влияние формирования однодоменных ПФ Si(111)5×2-Au на электрическую проводимость.

Научная новизна работы:

- Предложены оригинальные методики исследования электропроводности поверхностных фаз на кремнии в условиях СВВ.
- Исследована электрическая проводимость субмонослойной системы Al/Si(100) и ПФ Si(100)-Al при комнатной температуре.
- Исследовано изменение электрической проводимости подложки при адсорбции натрия на поверхностную фазу Si(111)4×1-In при комнатной температуре.
- Исследована электрическая проводимость однодоменной ПФ Si(111)5×2-Au.

Практическая ценность.

Получены данные о электрической проводимости поверхностных фаз Si(100)2×2-Al и Si(100)c(4×12)-Al, а также влиянии осаждения алюминия на электрическую проводимость данных поверхностных фаз. Исследована электрическая проводимость подложки кремния со сформированной поверхностной фазой Si(111)4×1-In при адсорбции атомов натрия. Показано, что вклад в электрическую проводимость подложки однодоменной ПФ Si(111)5×2-Au выше, чем трехдоменной ПФ Si(111)5×2-Au.

Результаты могут быть использованы для получения необходимых электрофизических свойств двумерных структур в полупроводниковой наноэлектронике и, в целом, для расширения представлений о механизмах электрической проводимости поверхностных фаз. Аппаратура, разработанная в процессе исследований, может использоваться для изучения условий формирования и электрической проводимости поверхностных фаз в условиях низких, высоких и комнатных температур.

На защиту выносятся основные результаты диссертационной работы:

1. Осаждение алюминия при комнатной температуре на поверхностную фазу Si(100)2×1 приводит к ее разрушению и уменьшению вследствие этого электрической проводимости.
2. Электрическая проводимость ПФ Si(100)2×2-Al не отличается от проводимости ПФ чистого кремния (100). Поверхностная фаза Si(100)c(4×12)-Al имеет более высокую электрическую проводимость, чем ПФ Si(100)2×1.
3. При осаждении натрия на поверхностную фазу Si(111)4×1-In электрическая проводимость уменьшается, что вызвано образованием ПФ Si(111)4×2-(In, Na), которая обладает диэлектрическими свойствами.
4. Вклад однодоменной ПФ Si(111)5×2-Au в электрическую проводимость подложки выше, чем трехдоменной ПФ Si(111)5×2-Au.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы были представлены на: III, IV и V региональных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых по физике полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалов (Россия, Владивосток, ИАПУ ДВО РАН; 1999, 2000, 2002); Второй, Третьей и Четвертой международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых

ученых (Россия, Владивосток, ВГУЭС; 2000, 2001, 2002); Региональных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых по физике; (Россия, Владивосток, ДВГУ; 2000, 2002); Второй всероссийской молодежной конференции по физике полупроводников и полупроводниковой опто- и наноэлектронике (Россия, Санкт-Петербург, 2000); Второй всероссийской молодежной конференции по физике полупроводников и полупроводниковой опто- и наноэлектронике (Россия, Санкт-Петербург, 2000); WE – Heraeus – Seminar 2D Conductivity in Surface States and Nanolayers (Germany, Physikzentrum Bad Honnef, 2001); International conference “Nanomeeting-2001” (Belarus, Minsk, 2001); Второй региональной научной конференции “Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование” (Россия, Хабаровск, 2001); IV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых исследователей (Россия, Благовещенск, АГУ, 2002); Fifth Russian-Japan Seminar on Semiconductor Surfaces (Russia, Vladivostok, 2002); Second Asia-Pacific conference “Fundamental problems of opto- and microelectronics”(Russia, Vladivostok, 2002); Второй всероссийской конференции “Химия поверхности и нанотехнология” (Россия, Санкт-Петербург, 2002); Международном симпозиуме (II Самсоновские чтения) “Принципы и процессы создания неорганических материалов” (Россия, Хабаровск, 2002); IV Международной научно-технической конференции МИЭТ “Электроника и информатика-2002” (Россия, Москва, 2002);

Публикации. По теме диссертации опубликованы 4 статьи в научных журналах и 15 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 116 страниц, включая 48 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 111 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и основные задачи диссертационной работы. Изложены научная новизна и практическая ценность. Приведены защищаемые положения, список конференций и семинаров, краткие данные об объеме и структуре работы.

Первая глава содержит основные сведения о поверхностных фазах, методах их формирования, представления о электрической проводимости поверхности полупроводников, результаты исследований электрической проводимости ПФ чистого кремния и ПФ кремний-адсорбат.

В первом разделе рассмотрены современные представления о поверхностных фазах на кремнии и условия их формирования, способы описания их кристаллической структуры. Представлены основные сведения о составе и свойствах одно-, двух- и трехкомпонентных поверхностных фаз. На примере десорбции индия и поверхностной диффузии полоски золота показана роль поверхностных фаз в процессах на поверхности кремния.

Второй раздел содержит теоретические представления о электрической проводимости объемных полупроводников и поверхностной проводимости, а также основных механизмах проводимости приповерхностной области полупроводников.

Третий и четвертый разделы посвящены обзору, проведенных к настоящему времени исследований по изучению электрической проводимости поверхностных фаз чистой поверхности кремния и поверхностных фаз кремний-адсорбат. Хотя к настоящему времени число публикации по изучению поверхностных фаз на кремнии достигло более семи тысяч, явно недостаточно внимания уделяется электрической проводимости поверхностных фаз. Экспериментальные данные показывают, что поверхностные фазы могут обладать электрической проводимостью большей, меньшей или равной проводимости поверхностной фазы атомарно-чистой поверхности кремния. Отмечено, что у исследователей не сложилось единого представления как о механизмах электрической проводимости поверхностных фаз, так и о том, каким типом проводимости обладают исследуемые поверхностные фазы.

Во второй главе приведено краткое описание использованных методов: для определения кристаллической структуры поверхностных фаз – дифракции медленных электронов (ДМЭ), для проведения измерений электрической проводимости подложек кремния в условиях сверхвысокого вакуума – двух- и четырехзондовый методы измерения проводимости.

Эксперименты проводились в сверхвысоковакуумной камере Riber DEL-300. Камера оснащена системой измерения давления, источниками алюминия, натрия, индия и золота, оптикой дифракции медленных электронов, двухзондовой и четырехзондовой измерительными головками. Для получения изображений поверхности образцов использовался сверхвысоковакуумный СТМ GPI-300.03. Вакуум во время экспериментальных исследований был около 2×10^{-10} Торр.

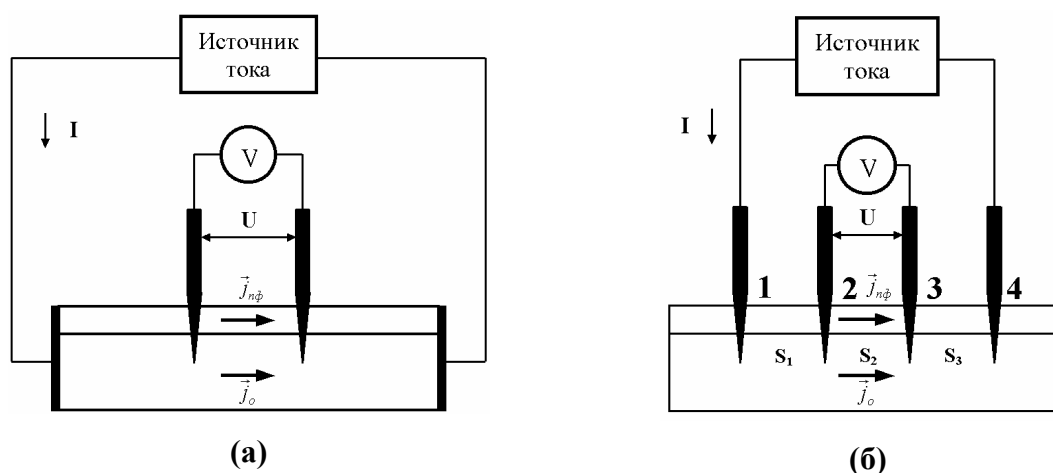


Рис. 1. Двух- (а) и четырехзондовый (б) методы измерения электрической проводимости. $\vec{J}_{n\phi}$, \vec{J}_o - ток через поверхностную фазу и объем подложки, соответственно.

Для того, чтобы иметь возможность измерять удельную поверхностную проводимость во время непосредственного напыления адсорбата была изготовлена двухзондовая измерительная головка, которая расположена непосредственно на держателе образца. Конструкция головки предусматривает отвод зондов во время высокотемпературной очистки, и, если это необходимо, во время напыления адсорбата. Четырехзондовая измерительная головка выполнена в виде сверхвысоковакуумного модуля, который расположен в отдельном фланце.

Применение двух- и четырехзондовых методов (рис.1) обусловлено их высокими метрологическими показателями, высокой чувствительностью и простой конструкции измерительных средств, и позволяет проследить изменение проводимости очень тонких поверхностных слоев, в том числе и поверхностных фаз.

ДМЭ является одним из самых эффективных методов, позволяющих изучать двумерные структуры, которые образуются на поверхности монокристалла при

адсорбции газов, при реконструкции поверхностных слоев, при напылении тонких моно- или субмонослойных пленок.

В последнем разделе второй главы приведены основные характеристики использованных источников и адсорбатов, способы получения и контроля атомарно-чистой поверхности подложек кремния.

В третьей главе описаны цели автоматизации эксперимента, принципы построения автоматизированных систем сбора данных, аппаратная и программная части разработанной системы автоматизации измерений электрической проводимости *in situ*.

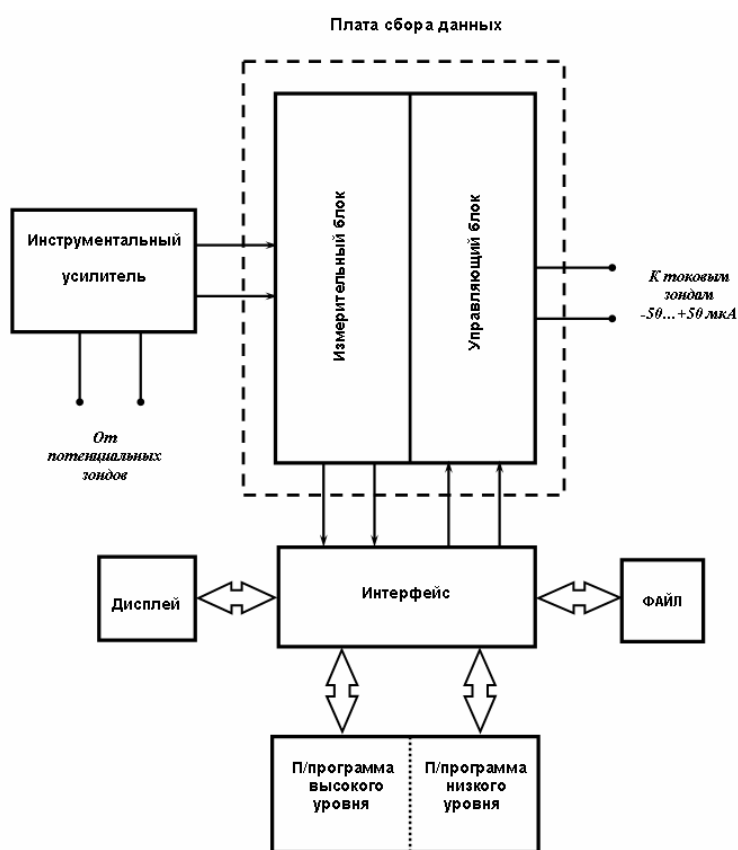


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматизации измерений проводимости.

Для того, чтобы успешно выполнить поставленные в диссертационной работе задачи, была разработана и изготовлена система автоматизации измерений проводимости. Функциональная схема системы автоматизации измерений проводимости поверхностных фаз представлена на рис. 2. С выхода управляющего блока на токовые зонды подается ток $-50...+50$ мкА. С потенциальных зондов снимается возникающая разность потенциалов и подается на инструментальный

усилитель. Инструментальный усилитель предназначен для повышения входного сопротивления системы до нескольких ГОм (10^9 Ом) и приведения уровня сигнала до уровня чувствительности измерительного блока платы сбора данных.

Программная часть системы производит управление измерительным и управляющим блоками, и включает программы управления низкого и высокого уровня, которые в реальном времени рассчитывают и выводят на дисплей и в файл данных значения электрической проводимости, абсолютную и относительную ошибки и время измерения.

В четвертой главе приведена методика измерения электрической проводимости поверхностных фаз. Представлены результаты экспериментальных исследований электрической проводимости поверхностных фаз Si-Al, влияния напыления натрия на ПФ Si(111)7×7 и Si(111)4×1-In, электрической проводимости одно- и трехдоменной ПФ Si(111)5×2-Au.

Первый раздел содержит описание методики измерения электрической проводимости поверхностных фаз на кремниевой подложке. Вследствие очень малой толщины поверхностных фаз невозможно обеспечить контакт измерительного зонда с поверхностной фазой, не контактируя при этом с подложкой. Это приводит к тому, что измеряемая проводимость имеет две составляющие: проводимость через объемный кремний σ_1 и через ПФ (рис. 3). Если на поверхности подложки сформирована поверхностная фаза типа кремний-адсорбат, то вполне вероятно, что ее проводимость σ_3 будет отличаться от проводимости поверхностной фазы чистого кремния σ_2 из-за различия их кристаллической и электронной структур. Для того чтобы оценить вклад ПФ (рис. 3) кремний-адсорбат, достаточно измерить проводимость подложки чистого

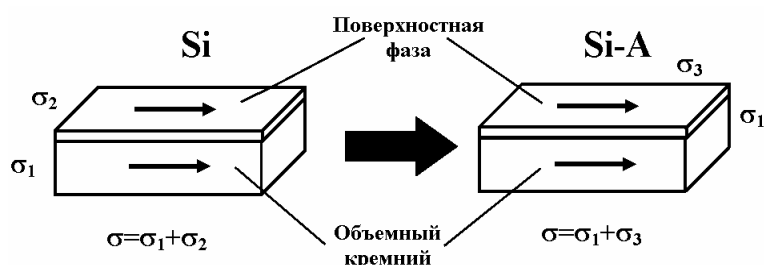


Рис. 3. Каналы проводимости до и после формирования ПФ кремний-адсорбат.

кремния и проводимость подложки с ПФ кремний-адсорбат. При этом в обоих случаях измеренные объемные составляющие будут численно равны и тогда вклад ПФ кремний-адсорбат будет оцениваться, как: $\Delta\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_2)$.

Во втором разделе представлены результаты экспериментальных исследований электрической проводимости субмонослойной системы Al/Si(100) при комнатной температуре и поверхностных фаз Si-Al. На рис. 4 представлены результаты измерений проводимости при напылении Al на ПФ Si(100)2×1 при КТ. Видно, что сразу после начала напыления проводимость уменьшается, достигая минимума при покрытии адсорбата 0,3 МС до 5 %, относительно ПФ Si(100)2×1, что связано с разрушением канала проводимости, сформированного ПФ Si(100)2×1. Образование ПФ Si(100)2×2-Al и канала проводимости, через данную поверхностную фазу, приводит к повышению проводимости до значения проводимости ПФ Si(100)2×1.

Была исследована электрическая проводимость поверхностной фазы Si(100)c(4×12)-Al. Установлено, что электрическая проводимость подложки с ПФ Si(100)c(4×12)-Al выше, чем для чистого кремния, что свидетельствует о появлении дополнительного, к объемному, канала проводимости. Электрическая проводимость чистого кремния и его ПФ Si(100)2×1 составила $(990 \pm 5)10^{-7}$ А/В, с ПФ Si(100)c(4×12)-Al – $(1050 \pm 5)10^{-7}$ А/В. Таким образом, электрическая проводимость ПФ Si(100)c(4×12)-Al на $(6 \pm 1)10^{-6}$ А/В или приблизительно на 6 % больше электрической проводимости ПФ Si(100)2×1.

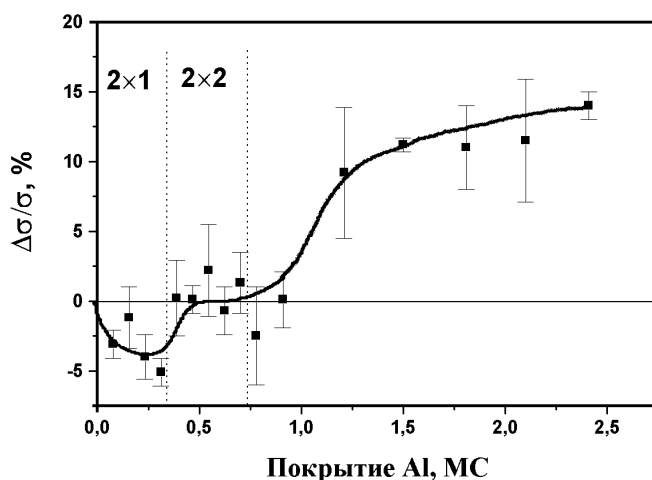


Рис. 4. Изменение проводимости и картин ДМЭ при напылении Al на ПФ Si(100)2×1 при КТ.

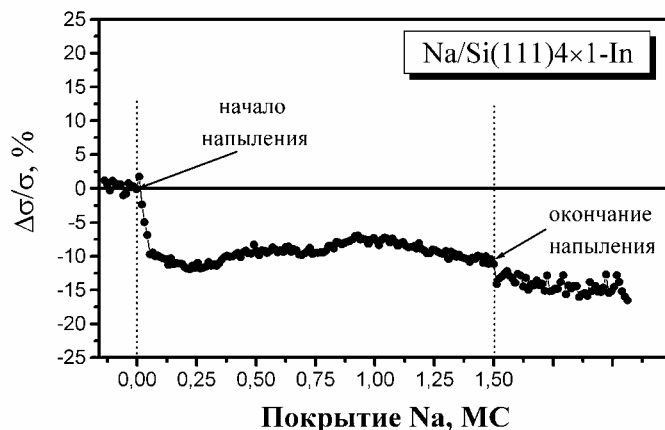


Рис. 5. Изменение проводимости в течение напыления Na на ПФ Si(111)4×1-In при КТ.

Третий раздел содержит результаты экспериментальных исследований влияния адсорбции натрия на ПФ Si(111)7×7 и Si(111)4×1-In. Измерения электрической проводимости производились двухзондовым методом непосредственно во время напыления адсорбата при КТ.

При адсорбции около 0,5 МС Na на ПФ Si(111)7×7 наблюдается резкое увеличение проводимости, что связано с формированием на поверхности металлического проводящего слоя. Когда покрытие составляет приблизительно 1,1 МС, начинает сказываться шероховатость поверхности и проводимость падает вплоть до окончания напыления.

Иная ситуация наблюдается в случае Na/Si(111)4×1-In, рис. 5. При напылении приблизительно 0,06 МС натрия проводимость резко уменьшается на 10 %, достигая своего минимума при покрытии около 0,25 МС. Наблюдаемое изменение электрической проводимости связано с образованием ПФ Si(111)4×2-(In, Na), которая обладает диэлектрическими свойствами [1].

В заключительном, четвертом разделе приведены результаты исследования влияния условий формирования на электрическую проводимость ПФ Si(111)5×2-Au. На поверхности Si(111)7×7 была сформирована полоска золота толщиной около 10 МС осаждением адсорбата при комнатной температуре. Отжиг образца при 900°С приводил к ее расширению в направлении перпендикулярном к границам полоски. При этом картины ДМЭ показывали различные поверхностные структуры: $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$, $\sqrt{3}\times\sqrt{3}+5\times 2$, 5×2 и 7×7 . ДМЭ картина поверхностной фазы Si(111)5×2-Au показывала однодоменную структуру. После напыления 0,5 МС золота через маску и последующем прогреве

образца при температуре 900°C на поверхности кремния была сформирована трехдоменная поверхностная фаза $\text{Si}(111)5\times 2\text{-Au}$ методом твердофазной эпитаксии. Для двух вышеописанных способов формирования поверхностной фазы $\text{Si}(111)5\times 2\text{-Au}$ были проведены измерения электрической проводимости, рис. 7. Методика измерения электрической проводимости поверхности образца в направлении перпендикулярном полоске золота показана на рис. 6.

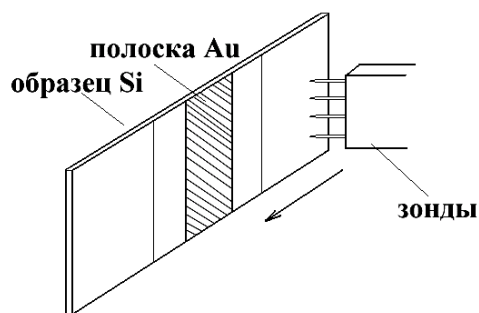


Рис. 6. Измерение поверхностной проводимости вдоль поверхности образца четырехзондовым методом.

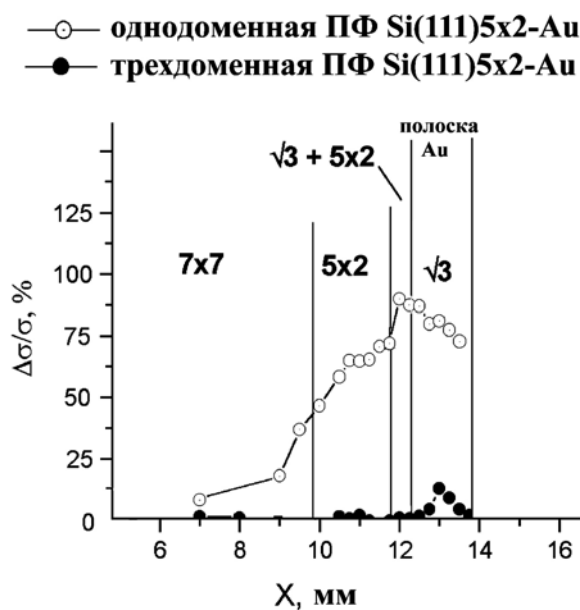


Рис. 7. Изменение поверхностной проводимости после расширения полоски золота вследствие поверхностной диффузии.

Из рис. 7 видно, что поверхностная проводимость однодоменной $\text{Si}(111)5\times 2\text{-Au}$ фазы, сформированной поверхностной диффузией, оказалась выше проводимости образца с трехдоменной $\text{Si}(111)5\times 2\text{-Au}$ фазой, сформированной твердофазной

эпитаксией, примерно в 5 раз. Это явление можно объяснить следующими причинами. В случае однодоменной поверхностной фазы число доменных границ меньше по сравнению с трехдоменной. Как известно, доменные границы действуют как рассеивающие центры для носителей заряда и, следовательно поверхность, содержащая большее число доменных границ имеет меньшую проводимость.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

С использованием метода дифракции медленных электронов, двух- и четырехзондового методов измерения электрической проводимости исследовано влияние поверхностных фаз, образуемых атомами металлов (алюминием, натрием и золотом) и кремния на электрическую проводимость подложки кремния. Показано, что добавление атомов натрия в ПФ Si(111)4×1-In приводит к изменению электрических свойств подложки.

1. Разработанные двухзондовая измерительная вакуумная приставка и система автоматизации измерений электрической проводимости позволяют в реальном времени проследить изменения проводимости при напылении адсорбата на поверхность подложки.
2. При напылении Al на поверхность Si(100) при комнатной температуре наблюдается разрушение поверхностной фазы Si(100)2×1 и формирование ПФ Si(100)2×2-Al. Электрическая проводимость данной поверхностной фазы не отличается от проводимости поверхностной фазы Si(100)2×1.
3. Поверхностная фаза Si(100)c(4×12)-Al обладает проводимостью приблизительно на 6 % большей, чем ПФ Si(100)2×1.
4. Добавление атомов натрия в ПФ Si(111)4×1-In при КТ приводит к уменьшению электрической проводимости подложки, что связано с образованием ПФ Si(111)4×2-(In, Na), которая обладает диэлектрическими свойствами.
5. Поверхностная проводимость однодоменной Si(111)5×2-Au фазы приблизительно в 5 раз выше проводимости образца с трехдоменной Si(111)5×2-Au фазой.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Белоус И.А., Цуканов Д.А., Рыжков С.В., «Автоматизация четырехзондового метода электрических измерений *in situ*», Тезисы докладов III региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по физике полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалов, Владивосток, 11-12 октября 1999г., с. 47;
2. Белоус И.А., Лифшиц В.Г., «Автоматизация электрических измерений *in situ*», Тезисы докладов Второй международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Высокие интеллектуальные технологии развития профессионального образования и науки», Владивосток, 25-28 апреля 2000г., с. 16;
3. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., Лифшиц В.Г., «Автоматизация измерений проводимости сверхтонких пленок и поверхностных фаз четырехзондовым методом» ДВО РАН, Тезисы докладов IV региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по физике полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалов, Владивосток, 4-6 декабря 2000г., с. 36;
4. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., Лифшиц В.Г., «Автоматизация измерений проводимости сверхтонких пленок и поверхностных фаз», Тезисы докладов Региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по физике Владивосток, 22-24 ноября 2000;
5. Утас О.А., Белоус И.А., Лифшиц В.Г., «Измерение электрической проводимости поверхностных фаз Si-Al», Тезисы докладов Второй всероссийской молодежной конференции по физике полупроводников и полупроводниковой опто- и наноэлектронике, Санкт-Петербург, 4-8 декабря 2000г., с. 39;
6. D.A. Tsukanov, S.V. Ryzhkov, O.A. Utas, I.A. Belous, V.G. Lifshits, «Influence of Surface Phases on Electrical Conductivity of Silicon Surface», Physics, Chemistry and Application of Nanostructures, Editors: V.E. Borisenko, S.V. Gaponenko, V.S. Gurin. World Scientific Publishing Company, Singapore, 2001, p. 184-189.
7. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., «Влияние поверхностных фаз Si-Al на электрическую проводимость Si», Тезисы докладов Третьей международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научный потенциал ВУЗов – на развитие производительных сил Приморского края», Владивосток, 3-13 апреля 2001г., с. 7-8;

8. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., Лифшиц В.Г., «Измерение электрической проводимости поверхностных фаз на кремнии четырехзондовым методом *in situ*», Приборы и техника эксперимента, 2001, № 5, с. 134-136.
9. Утас О.А., Белоус И.А., Лифшиц В.Г., «Влияние поверхностных фаз Si-Al на электрическую проводимость Si», Тезисы докладов Второй региональной научной конференции «Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование», Хабаровск, 2-4 октября 2001г., с. 68;
10. S.V. Ryzhkov, A.A.Saranin, A.V.Zotov, D.A. Tsukanov, O.A.Utas, I.A. Belous, M. Katayama, S. Hasegawa, K. Oura, V.G. Lifshits, «Si(100)2×3-Na surface phase formation and surface conductivity», Phys. Low-Dim. Struct., 11 (2001), p. 131-142.
11. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., Лифшиц В.Г., «Влияние адсорбции атомов на электрическую проводимость поверхностных фаз», Тезисы докладов Третьей региональной конференции «Физика: Фундаментальные и прикладные исследования, образование», Благовещенск, 27-29 мая 2002г., с. 126-127;
12. Belous I.A., Utas O.A., Tsukanov D.A., «Influence of atom adsorption upon surface phases on surface conductivity», Тезисы докладов Четвертой международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 4-7 июня 2002г.;
13. D.A. Tsukanov, S.V. Ryzhkov, O.A. Utas, I.A. Belous, V.G. Lifshits, «Study of electrical conductivity of Si(111)5×2-Au surface phase formed by surface diffusion», 5 Russia-Japan Seminar on Semiconductor Physics, Vladivostok, September 15-20, 2002, D-6.
14. Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Рыжков С.В., Цуканов Д.А., Утас О.А., Белоус И.А., Зотов А.В., Оура К., Хасегава Ш., «Поверхностные фазы как материал для нанотехнологий на поверхности кремния», Тезисы докладов Второй всероссийской конференции «Химия поверхности и нанотехнология», Санкт-Петербург, 23-28 сентября 2002г., с. 32;
15. Dmitry A. Tsukanov, Sergey V. Ryzhkov, Igor A. Belous, Oleg A. Utas and Victor G. Lifshits, «Electrical conductivity of surface phases on silicon», Proceedings of Second Asia-Pacific Conference «Fundamental problems of opto- and microelectronics», September 30 – October 4, 2002, Vladivostok, Russia (accepted in SPIE, volume 5129);
16. Белоус И.А., Утас О.А., Цуканов Д.А., Лифшиц В.Г. «Исследование формирования и электрической проводимости однодоменных поверхностных фаз кремний-золото», Тезисы докладов Международного симпозиума (II Самсоновские чтения)

- «Принципы и процессы создания неорганических материалов», Хабаровск, 4-6 ноября 2002г., с. 77;
17. С.В. Рыжков, Д.А. Цуканов, О.А. Утас, И.А. Белоус, В.Г. Лифшиц, «Методы измерения электрических характеристик поверхностных фаз кремний-адсорбат и других наноструктур на кремнии», Тезисы докладов IV Международной научно-технической конференции “Электроника и информатика - 2002”, МИЭТ, Зеленоград, 19-21 ноября 2002 г., с. 280-281.
 18. Белоус И.А., Утас О.А., Лифшиц В.Г., «Влияние адсорбции атомов натрия на электрическую проводимость поверхностных фаз», Тезисы докладов Региональной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по физике, Владивосток, 5-6 декабря 2002г., с. 47;

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Lee S.S., Ahn J.R., Kim N.D., Min J.H., Hwang C.G., Chung J.W., Yeom H.W., Ryjkov S.V., Hasegawa S. Adsorbate-induced pinning of a charge-density wave in a quasi-1D metallic chains: Na on the In/Si(111)-(4×1) surface // Phys. Rev. Lett. - 2002. - V.88, № 19. - P. 196401-4.

Белоус Игорь Александрович

**ВКЛАД ПОВЕРХНОСТНЫХ ФАЗ Si-Al, Si-In-Na, Si-Au
В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ КРЕМНИЯ.**

Автореферат

Подписано к печати 19 марта 2003 г.

Усл.п.л. 1.0. Уч.-изд.л. 0.83. Формат 60x84/16.

Тираж 100. Заказ 13.

Издано ИАПУ ДВО РАН. г. Владивосток, Радио, 5.

Отпечатано участком оперативной печати ИАПУ ДВО РАН

г. Владивосток, Радио, 5.