

получить радиальносимметричные металлические слои на пластинах диаметром 76—100 мм с уменьшением толщины пленки на периферии от центра порядка 5—9 %.

Значение удельного сопротивления материала пленки превышает справочные значения для данного металла для пленок в интервале исследованных толщин. Превышение тем больше, чем меньше толщина пленки. Вероятной причиной увеличения удельного сопротивления металлических пленок нанометровых размеров является уменьшение подвижности электронов за счет рассеяния на дефектах пленки, возникающих из-за влияния на структуру пленки остаточных газов, а также, возможно, за счет поверхностного рассеяния электронов.

Использование оптимальных режимов выращивания позволило получить многослойные пленки

Ti/Al/Ni/Au на нитриде галлия с разбросом поверхностного электросопротивления порядка 3—4 %.

Библиографический список

1. Кузй, Р. Электроника на основе нитрида галлия / Р. Кузй. – М. : Техносфера, 2011. – 592 с.
2. Васильев, А. Г. СВЧ-приборы и устройства на широкозонных полупроводниках / А. Г. Васильев, Ю. В. Колковский, Ю. А. Концевой – М. : Техносфера, 2011. – 416 с.
3. Васильев, А. Г. СВЧ-транзисторы на широкозонных полупроводниках : учеб. пособие / А. Г. Васильев, Ю. В. Колковский, Ю. А. Концевой – М. : Техносфера, 2011. – 256 с.
4. Кобелева, С. П. Методы измерения электрофизических параметров монокристаллического кремния / С. П. Кобелева // Заводская лаборатория. – 2007. – № 1. – С. 60—67.
5. Физические величины : справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
6. Технология тонких пленок : справочник / под ред. Л. Майсела, Р. Глэнга. – М. : Советское радио, 1977. – Т. 2. – 662 с.

Работа ИФЯЭ НИЯУ МИФИ выполнена при частичной поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Разработка конструкции и промышленной технологии изготовления твердотельных компонентов на широкозонном материале GaN» № 138/2010У от 10.08.2010.

Измерения поверхностного сопротивления выполнены на оборудовании ЦКП «Материаловедение и металлургия» НИТУ «МИСиС».

УДК 621.382:621.315.592

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИОДОВ ШОТКИ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ

© 2012 г. И. Г. Пашаев

Бакинский государственный университет, Азербайджанская Республика

Исследовано получение и изучены электрофизические свойства $Au_xTi_{100-x}-nSi$ (где $x = 10, 36, 87$) и $Pb_xSb_{100-x}-nSi$ (где $x = 52, 70, 87$) диодов Шотки. Установлено, что пленки сплавов $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ имеют аморфную структуру, а остальные пленки — поликристаллическую. Определена высота барьера диодов Шотки в зависимости от состава и структуры пленок металла. Выявлено, что электрофизические свойства $Au_xTi_{100-x}-nS$ и $Pb_xSb_{100-x}-nSi$ диодов Шотки зависят от состава и структуры пленок металла.

Ключевые слова: термоотжиг, аморфные металлы, диоды Шотки, пленка сплава, высота барьера.

Введение

В течение последних 25 лет интенсивно изучается аморфное состояние твердых тел в связи с широким применением аморфных полупроводниковых и металлических пленок в ряде областей науки и техники [1—11]. Отличительной особенностью выпрямляющего контакта металл—полупроводник (диод Шотки) является меньшее прямое падение напряжения по сравнению с $p-n$ -переходом. Другая особенность диода Шотки — отсутствие инжекции неосновных носителей заряда из металла в полупроводник. Отсюда следует, что в приборах,

использующих переход Шотки, отсутствует диффузионная емкость, связанная с накоплением неосновных носителей заряда в полупроводниках, что значительно повышает их быстродействие. Для получения более однородной границы раздела (ГР) диодов Шотки (ДШ), изготовленных на основе кремния с различными металлическими слоями, перспективным является материал либо с аморфной структурой, либо с монокристаллической. Практически изготовление интегральной микросхемы с применением ДШ на монокристаллических слоях является более трудной технологической задачей, чем изготовление ДШ с аморф-

ной структурой. В литературе, посвященной физике и технологии контакта металл—полупроводник, изучена лишь роль полупроводника в происходящих процессах [4, 12].

Роль металлов и их кристаллической структуры в процессах изучены недостаточно. Чтобы идентифицировать роль металла, исследовали свойства ДШ в зависимости от структуры и области контакта металлов. Показано, что главные параметры ДШ, такие как плотность тока, высота барьера, напряжение пробоя, коэффициент неидеальности, зависят от размера области контакта и толщины металлической пленки [1—3, 5—9, 10, 13]. Увеличение надежности и улучшение качества электронных приборов, в том числе приборов на основе барьера Шотки, остается настоящей потребностью современной полупроводниковой техники. Открытие аморфных металлов внесло большой вклад в науку о металлах, существенно изменив наши представления о них. Оказалось, что аморфные металлы разительно отличаются по своим свойствам от кристаллических металлов [1—3, 5, 7, 14]. Кроме того, имеются сообщения о том, что аморфные пленки металлов хорошо выполняют роль диффузионного и электрического барьеров в микроэлектронных структурах [1, 3, 14]. В ДШ, изготовленных на основе аморфных сплавов, формируется более однородная ГР [1—3, 5]. Настоящая работа посвящена получению Au_xTi_{100-x} — nSi и Pb_xSb_{100-x} — nSi ДШ и исследованию влияния металлических слоев на электрофизические свойства ДШ. В металлургии аморфных материалов сплавам $AuTi$ и $PbSb$ уделяется особое внимание [2, 10, 14], поскольку оба эти металла широко используются в электронной технике. Для этого подробно изучено влияние микроструктуры пленки металла на свойства ДШ, изготовленных на основе Au_xTi_{100-x} — nSi и Pb_xSb_{100-x} — nSi .

Образцы и методы исследования

Для исследования электрофизических свойств ДШ, изготовленных на основе кремния с различными металлическими сплавами, выбраны сплавы Au_xTi_{100-x} (где $x = 10, 36, 87$) и Pb_xSb_{100-x} (где $x = 52, 70, 87$).

Пленки сплавов Au_xTi_{100-x} и Pb_xSb_{100-x} были получены методом электронно—лучевого испарения из двух источников. Скорость испарения компонентов выбирали таким образом, чтобы состав пленки соответствовал сплаву $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$, поскольку эти сплавы склонны к аморфизации [2, 7, 14]. Установка имела цилиндрическую симметрию, распыляемая мишень — форму цилиндра диаметром 60 мм и длиной 480 мм. Аморфные пленки металлов хорошо выполняют функции диффузионных барьеров в микроэлектронных структурах и позволяют изготавливать ДШ с высоким потенциальным барьером (до 1 эВ), что представляет интерес для солнечной

энергетики. Для изготовления ДШ в качестве полупроводника использовали пластину кремния n -типа проводимости с ориентацией (111) и удельным сопротивлением n -слоя 0,7 Ом·см.

Структуру пленки сплава контролировали методом рентгенографического анализа на промышленной установке ДРОН-4 [15]. Первичный пучок ($\lambda_{Cu} = 1,54$ нм, λ — длина волны) монохроматизировали кристаллом пирографита. Поправки $\Delta 2\theta$, влияющие на точность измерения межплоскостных расстояний, вносили по рефлексам внутреннего стандарта — NaCl. Съемку рентгеновской дифрактограммы проводили в интервале углов $2\theta = 10 \div 110^\circ$.

При разработке технологии получения пленок сплавов с аморфной структурой [14] ток бомбардирующих ионов вытягивался из плазмы другого разряда низкого давления. Энергию ионов и плотность ионного тока меняли в интервале 0—2000 эВ и 0—2 А соответственно.

Структуру пленки сплава до и после термоотжига контролировали с помощью рентгенографического анализа и просвечивающей электронной микроскопии [15].

Результаты и их обсуждение

Рентгеновские дифрактограммы пленок металлических сплавов Au_xTi_{100-x} (где $x = 10, 36, 87$) приведены на рис. 1. Как видно из рис. 1, пленка сплава $Au_{36}Ti_{64}$ имеет аморфную структуру, а остальные пленки — поликристаллическую.

В области прямого напряжения $U > 3kT/e$ высоту барьера ДШ определяли по вольт—амперной характеристике [6].

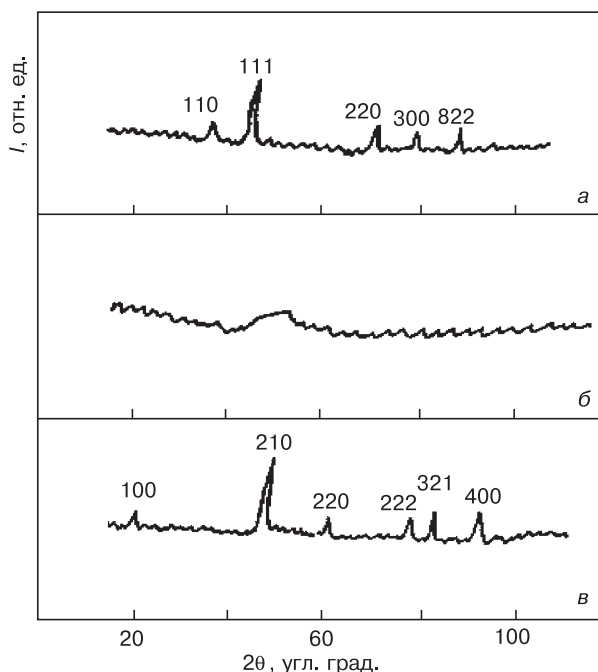


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы пленок металлических сплавов Au_xTi_{100-x} : а — $x = 10$; б — 36; в — 87

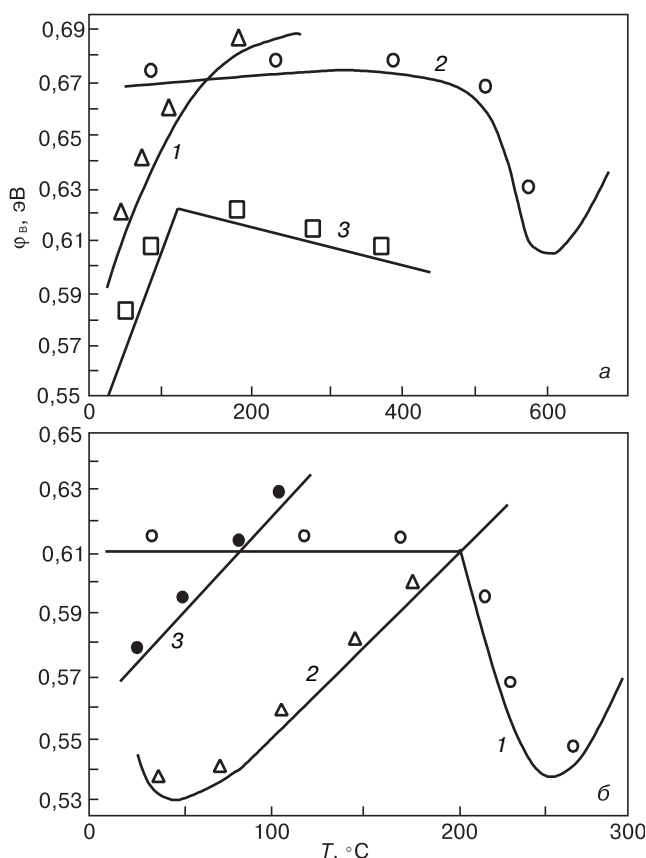


Рис. 2. Зависимости высоты барьера от температуры отжига для Au_xTi_{100-x} ДШ (а) и Pb_xSb_{100-x} ДШ (б):

а: 1 — 10; 2 — 36; 3 — 87;
б: 1 — 52; 2 — 70; 3 — 87

На рис. 2. показаны зависимости высоты барьеров от температуры отжига. В процессе измерений $Au_xTi_{100-x}-nSi$ (где $x = 10, 36, 87$) и $Pb_xSb_{100-x}-nSi$ (где $x = 52, 70, 87$) ДШ находились в термостате, где температуру поддерживали с точностью $\pm 2^\circ C$. Термоотжиг проводили в атмосфере при температуре от 50 до $600^\circ C$ в течение 10 мин.

Как видно из рис. 2, ДШ, изготовленные на основе сплавов $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$, более термостабильны по сравнению с диодами на основе пленок сплавов другого состава.

Уменьшение высоты барьера наблюдали для $Au_{36}Ti_{64}-nSi$ ДШ при $540^\circ C$ и $Pb_{52}Sb_{48}-nSi$ ДШ при $200^\circ C$. Остальные диоды прерывают свою зависимость при различных температурах отжига и при дальнейшем отжиге не показывают выпрямляющих характеристик. Следовательно, можно предположить, что изменение высоты барьера ДШ после термоотжига при 540 и $200^\circ C$ и выше связано с изменением микроструктуры металлических пленок сплава.

Действительно, исследования структуры металлических пленок $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ показали, что пленка металлов при температуре 540 и $200^\circ C$ переходит из аморфного или квазиаморфного состояния в поликристаллическое. Об этом свидетельствуют и электронно-микроскопические исследования поверхности пленки (рис. 3).

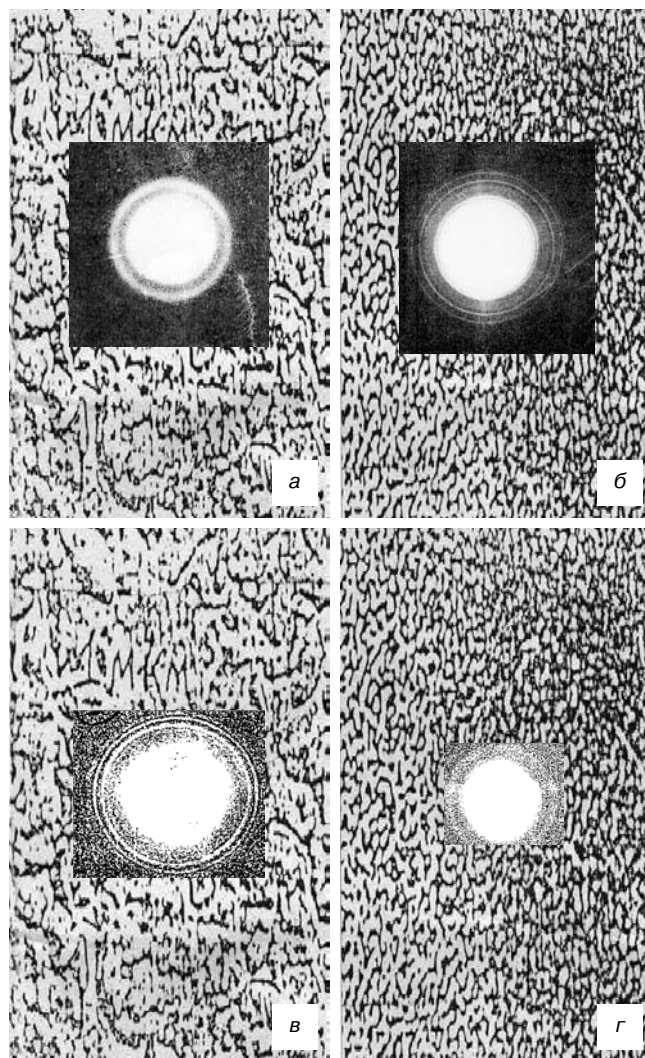


Рис. 3. Электронно-микроскопические изображения поверхности пленки $Au_{36}Ti_{64}$ (а, б) и $Pb_{52}Sb_{48}$ (в, г): а, в — после отжига при температуре 540 и $200^\circ C$ соответственно; б, г — до отжига ($\times 50000$)

Заключение

Установлено, что при составе пленок сплавов $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ образцы при температурах менее 540 и $200^\circ C$, соответственно, являются аморфными. Такому составу ДШ соответствует стабильная высота барьера по сравнению с поликристаллической пленкой металла. Показано, что металлические пленки $Au_{36}Ti_{64}$ и $Pb_{52}Sb_{48}$ при температуре 540 и $200^\circ C$ соответственно из аморфного или квазиаморфного состояния переходят в поликристаллическое.

Библиографический список

1. Kung, K. T. Y. Elektrikal characteristics of amorphous molybdenum-nickel contacts to Si / K. T. Y. Kung, I. Suni, M. A. Nikolet // J. Appl. Phys. — 1984. — V. 55, N 10. — P. 3882—3884.
2. Пашаев, И. Г. Влияние различных обработок на свойства диодов Шоттки / И. Г. Пашаев // ФТП. — 2012. — Т. 46, вып. 8. — С. 1108—1110.
3. Wickenden, D. K. Amorphous metal-semiconductor contacts for high temperature electronics-II / D. K. Wickenden, M. J. Sisson // Solid state electron. — 1984. — V. 27, N 6. — P. 515—518.
4. Крылов, П. Н. Влияние термополевой ионизации на формирование барьера Шоттки металл—«аморфный кремний» / П. Н. Крылов // ФТП. — 2000. — Т. 34, вып. 3. — С. 306—309.

5. Pashaev, I. G. Elektronysikal properties of schottky diodes made on the basis of silikon with amorphous and polycrystalline metal alloy at low direct voltage / I. G. Pashaev // Internat. J. Technical and Physical Problems of Engineering. – 2012. – Iss. 10. – V. 4, N 1. – P. 41—44.

6. Валиев, К. А. Применение контакта металл—полупроводник в электронике / К. А. Валиев, Ю. И. Пашинцев, Г. В. Петров – М.: Советское радио, 1981. – 364 с.

7. Критская, Т. В. Влияние различных обработок на свойства контакта кремний – аморфный металлический сплав / Т. В. Критская, И. Г. Пашаев, И. А. Абузеров // VI Междунар. научн.–практ. конф. «Современные проблемы и достижения в области радиотехники, телекоммуникаций и информационных технологий». – Запорожье, 2012. – С. 332—333.

8. Аскеров, Ш. Г. Влияние толщины металлических пленок на свойства диодов Шотки / Ш. Г. Аскеров, И. Г. Пашаев, Ш. С. Асламов, Э. Г. Шаулова // Электронная техника. Сер.10. Микроэлектронные устройства. – 1986. – Вып. 1. – С. 74—76.

9. Бандеренко, В. Б. Естественные неоднородности высоты барьера Шотки / В. Б. Бандеренко, Ю. А. Кудинов, С. Г. Ершов, В. В. Кораблев // ФТП. – 1998. – Т. 32, № 5. – С. 554—556.

10. Тез. докл. 1-й и 2-й Всесоюз. конф. «Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов». – Кипшинев, 1982. – Ч. 1 и 2. : 1986. – С. 141—165.

11. Аскеров, Ш. Г. Влияние микроструктуры поверхности металла на омические свойства контакта металл—полупроводник / Ш. Г. Аскеров // ПЖТФ. – 1977. – Т. 3, № 18. – С. 968—970.

12. Торхов, Н. А. Природа прямых и обратных токов насыщения в контактах металл—полупроводник с барьером Шотки / Н. А. Торхов // ФТП. – 2010. – Т. 44, № 6. – С. 767—774.

13. Абдулаев, Г. Б. Некоторые вопросы физики электронно-дырочных переходов / Г. Б. Абдулаев, З. А. Искендерзаде – Баку: Элм, 1971. – С. 114.

14. Судзуки, К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзумори, К. Хасимов – М.: Металлургия, 1987. – С. 328.

15. Гинье, А. Рентгенография кристаллов / А. Гинье – М., 1963. – С. 600.

УДК 621.315.592

ВОДОРОДНО–ИНДУЦИРОВАННОЕ СКАЛЫВАНИЕ ПЛАСТИН КРЕМНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

© 2012 г. К. Б. Тыныштыкбаев, Ю. А. Рябикин, С. Ж. Токмолдин, Б. А. Рахметов, Т. Айтмукан
Физико–технический институт МОН РК, Казахстан

Представлены метод получения скрытых дефектных слоев кремния с помощью электрохимического анодного травления и результаты исследования их структуры в зависимости от условий травления и параметров образцов. Показано, что создание скрытых дефектных слоев возможно в результате установления режима лавинного пробоя в локальной области прижимного контакта, когда при лавинной ионизации основных носителей заряда происходит травление по периметру образца. При этом верхний отделяющийся слой остается ненарушенным, сохраняя исходную кристаллическую структуру. Решающую роль в механизме формирования скрытых дефектных слоев кремния играют образующиеся при травлении точечные дефекты и электролитический водород.

Ключевые слова: пористый кремний, скрытые слои, упругие напряжения, точечные дефекты, водород.

Введение

Известны методы отделения слоя пористого кремния (ПК) от подложки путем увеличения плотности тока электрохимического травления [1—3]. Во всех этих случаях идет отделение пористого слоя в результате изменения режима травления с участием газообразного водорода, образующегося при травлении. Авторами данной работы обнаружен режим травления кремния, при котором происходит отделение тонких слоев (пластин) монокристаллического кремния без образования пористого слоя на лицевой поверхности пластин. Представлены результаты исследования скрытых дефектных слоев пористого и непористого кремния, структура которых зависит от условий электрохимического анодного травления и параметров образцов.

Образцы и методы исследования

В качестве исходного материала для получения слоев ПК использовали монокристаллический крем-

ний p -типа проводимости p -Si(100), легированный бором, марки КДБ с удельным сопротивлением 0,01, 1,0 и 10 Ом · см. Электрический контакт к тыльной стороне кремниевых пластин обеспечивали нанесением индия с последующим отжигом на воздухе при температуре $T_{отж} = 300^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Электрохимическое травление выполняли в гальваностатическом режиме. Пластины кремния подвергали анодному травлению в спиртовом растворе плавиковой кислоты (49 %) при соотношении $\text{HF} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1 : 1$ во фторопластовой ячейке при комнатной температуре. Катодом служила никелевая пластина. Травление образцов кремния проводили при различных значениях тока и времени травления. Ток травления составлял 10 мА при диаметре поверхности травления 2 см. Травление проводили только с одной стороны образца.

Морфологию поверхности отделенного слоя изучали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6490 LA и атомно-силовом микроскопе (АСМ) JSPM-5200, а