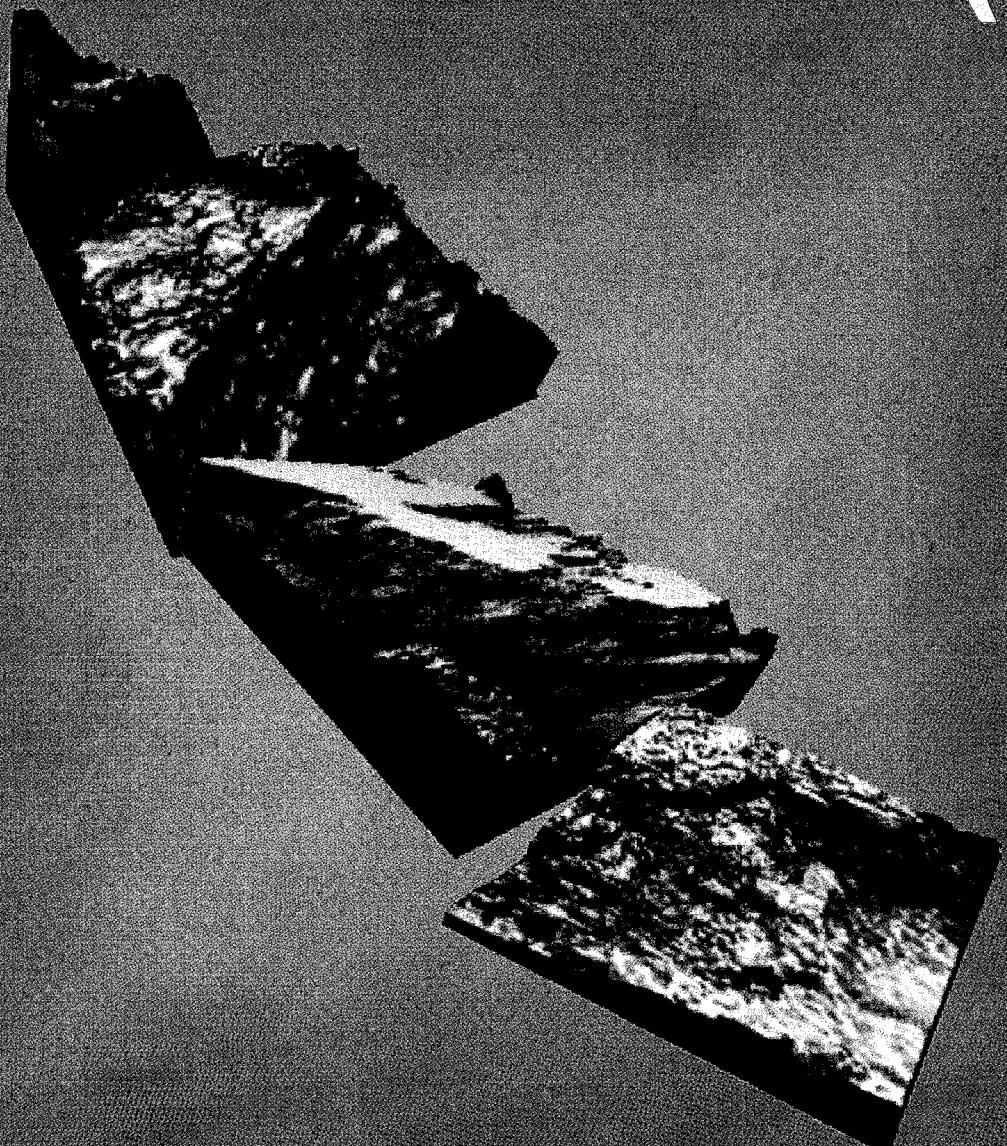


НАНОТЕХНИКА

ИНЖЕНЕРНЫЙ ЖУРНАЛ

декабрь 2006

№4(8)



JOURNAL FOR ENGINEERS

NANOTECHNICS

СОДЕРЖАНИЕ

Решение III научно-практической конференции «Нанотехнологии – производству 2006»	3
Регионы: шаги наноиндустрии. <i>М.А. Анасян</i>	4
Саратовский центр наноиндустрии. <i>Н.Д. Жуков</i>	13
История, состояние и перспективы развития нанотехнологий (Nano-Curriculum vitae). <i>Г.Г. Крушинко</i>	16
Нанодисперсные порошки меди: получение, свойства, возможности использования. <i>Л.В. Золотухина, Б.Р. Гельчинский, Н.В. Кишикапаров, С.А. Оглезнева, Д.В. Ершов</i>	22
Жидкофазная халькогенидная пассивация при электрохимическом формировании выпрямляющих контактов металл–полупроводник с наноскопической границей раздела. <i>Л.В. Фомина, С.А. Безносюк</i>	26
Двигатель предварительного позиционирования для зондовых микроскопов. <i>М.Г. Азарян</i>	31
Формирование наночастиц серебра в структурированных матрицах и перспективы использования композитных материалов на их основе. <i>Т.И. Израак, О.В. Бабкина, И.Н. Лапин, Е.В. Леонова, О.В. Магаев, А.В. Данилов, А.С. Князев, В.Л. Светличный, О.В. Водянишина, Г.М. Мокроусов, Н.Е. Богданчикова</i>	34
Взаимодействие полупроводниковой пластины с самоаффинным рельефом поверхности с электромагнитным излучением. <i>И.Н. Серов, А.В. Копыльцов, Г.Н. Лукьянин</i>	44
Опыт и перспективы использования напосейсмической технологии для исследований земной коры. <i>Ф.Н. Юдахин, Н.К. Капустян, Е.В. Шахова, Г.Н. Аитоповская</i>	49
Получение объемных ультрамелкозернистых материалов методом интенсивной пластической деформации. <i>Р.З. Валиев, Ю. Эстрип, З. Хорита, Т.Г. Лэнгдоу, М.Й. Зехетбауэр, Ю.Т. Жу</i>	57
Интенсивная пластическая обработка металлических листов методом равноканальной угловой вытяжки. <i>А.А. Зисман, К.К. Ованесьян, В.В. Рыбин</i>	66
Нанотехнологическое СВЧ вакуумно-плазменное оборудование. <i>Р.К. Яфаров</i>	73
Исследование процессов магнетронного напыления с применением резонаторов «АЙРЭС». <i>И.Н. Серов, А.В. Алисимов, Г.Н. Лукьянин, С.К. Мирошниченко, А.О. Голубок, В.И. Марголин, В.Т. Барченко</i>	78
Применение импульсных электрических разрядов в водных растворах для получения напоматериалов и их использование для очистки воды. <i>Н.Б. Даниленко, А.И. Галанов, Я.И. Корнеев, П.В. Балухтий, Л.Н. Шиян, Т.А. Юрмазова, Н.А. Яворовский, Г.Г. Саевльев</i>	81
Возможности применения напопорошков взрывного синтеза в Красноярске. <i>В.П. Исаков, А.И. Лямкин, В.Г. Исакова</i>	91
Перспективы использования детонационных наноалмазов с повышенной коллоидной устойчивостью в технических областях. <i>А.П. Пузырь, Г.Е. Селютин, В.Б. Воробьев, Е.Н. Федорова, К.В. Пуртов, В.А. Ворошилов, В.С. Бондарь</i>	96
О возможности динамического синтеза нанодисперсных и сверхтвердых материалов в гиперзвуковой плазменной струе. <i>А.А. Сивков, А.П. Ильин, Л.С. Сайгаш, Д.Ю. Герасимов, Р.Р. Шарипов, С.И. Привезенцев</i>	106
Наносборка молекул для лакокрасочных материалов и композитов. <i>В.Б. Кожевников</i>	112
Москатель – старое слово – новое дело. <i>Г.Г. Емелина, В.Б. Кожевников</i>	115
НОВОСТИ	117
КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ	128
АННОТАЦИИ	129

TABLE OF CONTENTS

Resolution of the Third Conference «Nanotechnology For Industry 2006»	3
Regions: nanoindustry strides. <i>M.A. Ananyan</i>	4
Nanoindustry Center in Saratov. <i>N.D. Zhukov</i>	13
History, current status and future trends of the nanotechnologies (Nano – Curriculum vitae). <i>G.G. Krushenko</i>	16
Nanodisperse copper powders: production, properties and applications. <i>L.V. Zolotukhina, B.R. Geltchinskiy, N.V. Kishkoparov, S.A. Oglezneva, D.V. Ershov</i>	22
Method of halogenide passivation at liquid-phase electrochemical formation of the nanostructural metal – semiconductor diode contact. <i>L.V. Fomina, S.A. Beznosyuk</i>	26
Preliminary positioning driver for probe microscopes. <i>M.H. Azaryan</i>	31
The silver nanoparticles formation into structured matrixes and the promise of application of composite materials on their base. <i>T.I. Izaak, O.V. Babkina, I.N. Lapin, E.V. Leonova, O.V. Magaev, A.V. Danilov, A.S. Knyazev, V.A. Svetlichnyi, O.V. Vodyankina, G.M. Mokrousov, N.E. Bogdanchikova</i>	34
Interaction of semiconductor plate with the self-affin relief of surface with the electromagnetic radiation. <i>I. Serov, A. Kopylov, G. Lukyanov</i>	44
Experience and prospects of using nanoseismic technology to study Earth's crust. <i>F.N. Udakhin, N.K. Kapustian, E.V. Shakhova, G.N. Antonovskaya</i>	49
Manufacture of bulk ultra-fine-grained materials by severe plastic deformation. <i>R.Z. Valiev, Yu. Estrin, Z. Khorita, T.G. Langdon, M.J. Zekhetbauer, Y.T. Zhu</i>	57
Severe plastic treatment of sheet metals by equal channel angular drawing. <i>A.A. Zisman, K.K. Ovanesian, V.V. Rybin</i>	66
The low-temperature synthesis of superdispersed diamonds in microwave plasma of low pressure gas discharge. <i>R.K. Yafarov</i>	73
Study of the processes of magnetron evaporation with the application of resonators «AIRES». <i>I.N. Serov, A.V. Anisimov, G.N. Lukyanov, S.K. Miroshnichenko, A.O. Golubok, V.I. Margolin, V.T. Bartchenko</i>	78
The usage of pulse electric discharges in water solutions for nanomaterials production and their usage in water purification. <i>N.B. Danilenko, A.I. Galanov, Ya. I. Kornev, P.V. Balukhtin, L.N. Shigan, T.A. Yurmanova, N.A. Yavorovskii, G.G. Savel'ev</i>	81
Opportunities of application nanoparticles of explosive synthesis in Krasnoyarsk. <i>V.P. Isakov, A.I. Lyamkin, V.G. Isakova</i>	91
Prospects of applying detonation nanodiamonds with improved colloidal stability for technical sciences. <i>A.P. Puzyr, G.E. Selyutin, V.B. Vorobyov, E.N. Fedorova, K.V. Purtov, V.A. Voroshilov, V.S. Bondar</i>	96
Synthesis of superhardness materials in hypersonic jet of electrodisscharge plasma. <i>A.L. Sivkov, A.P. Ilyin, A.S. Saygash, D.Yu. Gerasimov, R.R. Sharapov, S.I. Privezencev</i>	106
Molecule nanoassembly for paintwork materials and composites. <i>V.B. Kozhevnikov</i>	112
Moskate: old word – new undertaking. <i>G.G. Emelina, V.B. Kozhevnikov</i>	115
NEWS	117
BOOK REVIEV	128
ANNOTATION	129

ISSN 1816-4498**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

115184, Москва, Б.Татарская ул., д.38

Сдано в набор 02.10.2006. Подписано в печать 23.10.2006

Формат 60x90¹/8 Бумага офсетная №1.

Уч.-изд. л. 12,5. Физ. п. 12,5. Тираж 500. Заказ №146

«Янус-К». Лицензия ИД № 05875 от 21.09.2001
109316, Москва, ул. Страйковская, д.12, корп.2.Отпечатано в ООО «ИНФОРМ-СОФТ»
119034, Москва, Еропкинский пер., д.16**Редакционный совет****Председатель:****Ананиян М.А.**, д.т.н., главный конструктор Роспрома по направлению «Наноиндустрия»**Члены совета:**

Андреевский Р.А., д.т.н., проф., член совета РАН

по наноматериалам; Быков В.П., д.ф-м.н., проф.;

Пролейко В.М., проф.; Сергеев Г.Б., д.х.н., проф.;

Цирлинга Г.А., д.х.н., проф.;

Четверушкин Б.Н., д.ф-м.н., член-корр РАН;

Левин А.С., отв. секретарь

Номер готовили:

Мосилюк С.А., Сапожников Ю.Т., Свидиненко Ю.Г.

основе каучуков общего назначения, таких как: условная прочность, сопротивление раздиру, прочность связи резины с металлокордом.

Список литературы

1. Андреевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Academia. 2005. 192 с.
2. Ультрадисперсные системы: получение, свойства, применение. Учеб. Пособие. М.: МИСиС, 2006, 182 с.
3. Усиление эластомеров / Под.ред. Д.Крауса: пер. с англ. М.: Химия, 1968, 483 с.
4. Печковская К.А. Сажа как усилитель каучука. – М.: Химия, 1968, 216 с.
5. Буланов В.Я., Каатер Л.И. и др. Диагностика металлических порошков. М.: Наука. 1984. 278 с.
6. Бублик В.Т., Дубровина А.Н. Методы исследования структуры полупроводников и металлов. М.: Металлургия, 1978, 272 с.

Жидкофазная халькогенная пассивация при электрохимическом формировании выпрямляющих контактов металл–полупроводник с наноскопической границей раздела

Л.В. Фомина, С.А. Безносюк

Введение

Нанотехнологии и наноструктурные материалы все больше проникают в различные отрасли производства. Уже сегодня такие материалы находят применение, например, как эффективные абсорбенты для молекулярных фильтров, в качестве основы для бесклееового соединения полированных деталей из стеклокерамики, для создания композитных конструкционных материалов с новым уровнем свойств. Современное приборостроение выпускает устройства не только микро-, но и наноэлектроники [1].

Полупроводниковая электроника берет старт в своем развитии с середины двадцатого века. С 1947 по 1959 годы были созданы первые точечный, плоскостной транзисторы и интегральная микросхема [2]. В 90-х годах XX века появились первые интегральные схемы с нормами проектирования 0,5 и 0,35 мкм [3]. В 1998 г. голландский физик Сеез Деккер создал напотранзистор [4]. А на рубеже тысячелетий началось производство микросхем с применением технологических норм 130, 90 и даже 65 нм. При использовании таких технологий необходим учет различных тонких физических эффектов, что позволяет создать новое поколение сверхминиатюрных супербыстро действующих систем сбора и обработки информации, контроля состояния различных объектов и т.п.

Доля полупроводниковых компонентов в электронной аппаратуре непрерывно растет. Полупроводниковые материалы находят широкое

применение в создании современных приборов вычислительной техники, информатики, радиоэлектроники [5]. Для создания приборов СВЧ электроники используются полупроводниковые соединения типа АШВ^V, позволяющие повышать быстродействие цифровых интегральных схем по сравнению с кремниевыми. Электрофизические параметры полупроводниковых электронных устройств, стабильность их работы во многом определяются свойствами гетерограницы между металлом и полупроводником, являющейся неотъемлемой частью таких приборов. Поэтому актуальным является совершенствование новых технологий создания нанослоевых контактов металл–полупроводник. Наряду с физическими методами, использующими высокий вакуум, газовые инертные среды, высокотемпературную плазму, электрохимические панотехнологии обеспечивают ряд преимуществ при создании близких к идеальным по характеристикам, стабильных диодных контактов. Ключевой этап электрохимических технологий – пассивация поверхностного слоя атомов полупроводника – рассмотрен в данной статье.

1. Метод создания диодных контактов металл–полупроводник

Известны разные способы создания выпрямляющих контактов металл–полупроводник: напыление металла в стандартных вакуумных системах, ионное распыление, электрохимическое и химическое осаждение металлов на поверхность полупроводника. Однако определяющую роль играют условия их формирования и последовательность применяемых операций [6]. Электрохимическое осаждение металлов из водных растворов характеризуется низкотемпературным режимом, доступностью, экономичностью, управляемостью процесса, высоким качеством металлических покрытий. Перед электрохимическим нанесением металла полупроводниковая пластина подвергается определенной физико-химической обработке. Предварительная обработка поверхности полупроводника складывается из следующих основных стадий: механическое шлифование и полирование, обезжиривание, химическое полирование, промывка в воде. Заключительные стадии – травление и промывка – определяют структуру поверхностного слоя полупроводника. При электроосаждении металла на подготовленную таким образом пластину поверхностный слой включается в структуру контакта и влияет на его физико-химические свойства. Для устранения нежелательного воздействия поверхности на свойства приборов, в технологии микроэлектронных устройств активно развивается направление, называемое «пассивацией», в рамках которого разрабатываются способы обработки поверхности, связанные с нанесением на нее различных покрытий. По-

следние обеспечивают как химическую, так и электрическую пассивацию полупроводника. Одним из направлений пассивации является модификация поверхности чужеродными атомами, в результате которой происходит перестройка электронной структуры поверхностных слоев полупроводника. Примером этого направления является широко разрабатываемая пассивация атомами элементов VI группы таблицы Д. И. Менделеева, халькогенидная пассивация [7–11]. Согласно литературным данным, в качестве источника халькогенов могут быть использованы пары серы, селена, халькогеноводороды, халькогенсодержащие органические соединения, водные и неводные растворы сульфидов и селенидов металлов и аммония.

Нами исследована пассивация поверхности арсенида и фосфида галлия *n*-типа из водных растворов халькогенсодержащих соединений неорганической природы при создании выпрямляющих контактов с металлами восьмой группы таблицы Д. И. Менделеева. Перед непосредственным погружением полупроводника в электролит для металлизации полупроводниковая пластина подвергалась дополнительному химическому воздействию в растворах некоторых халькогенсодержащих реагентов. Выбор природы пассивирующего раствора осуществлялся на основании представлений о составе реальной поверхности полупроводника, прошедшем травление и промывку [6, 12], а также на результатах термодинамического расчета возможных превращений между поверхностными соединениями полупроводника и водными растворами халькогенсодержащих реагентов [7, 13–16]. В работе в качестве пассивирующих сред использовались растворы сульфида, сульфита, селенита, тиосульфата натрия и селеновой кислоты. Применение соединений серы и селена, в которых они проявляют положительные степени окисления, расширяет перечень пассивирующих халькогенсодержащих компонентов, используемых в литературе. Поэтому уместно говорить не просто о халькогенидной пассивации, а о халькогенной пассивации полупроводников.

2. Пассивация арсенида галлия

Отличительной особенностью арсенидов является наличие на поверхности, подвернутой стандартной технологической подготовке, наряду с оксидами компонентов полупроводника элементного мышьяка. Эксперименты по созданию выпрямляющих контактов на поверхности, содержащей оксиды, и на поверхности, максимально свободной от оксидов, не позволили сформировать устойчивые к нагреванию и длительному воздействию воздушной атмосферы выпрямляющие контакты металл – полупроводник *n*-типа [13, 17]. Электрофизические параметры таких контактов быстро ухуд-

шались. Это связано с процессами окисления-восстановления на границе между металлом и полупроводником.

Применяя халькогенную обработку поверхности полупроводника, можно сформировать более совершенную границу раздела металл – полупроводник, следовательно, повысить надежность выпрямляющих контактов. Это связано с реализацией нескольких факторов. Первый – кристаллохимический. В табл. 1 приведены кристаллографические параметры веществ, образующих границу раздела металл – полупроводник. Как видно, соответствие структур полупроводника, металла и пограничных соединений наблюдается в случае присутствия на границе раздела халькогенидов галлия, в меньшей степени оксидов, халькогенидов мышьяка, элементного мышьяка и оксидов галлия. Преобразовать исходный оксидный слой в поверхностные халькогениды можно, например, с помощью водных растворов сульфида натрия. Здесь не требуется, как при сульфидировании из газовой фазы, удаления с поверхности оксидного слоя путем отжига в сверхвысоком вакууме или под действием ультрафиолетового излучения. В данном случае оксидный слой травится непосредственно пассивирующим раствором [7]. Халькогенидная пассивация поверхности арсенида галлия из водных растворов сульфидов или селенидов может быть представлена реакциями типа:

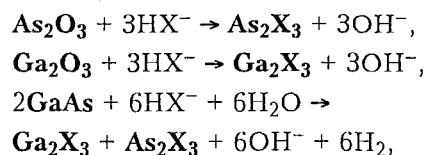


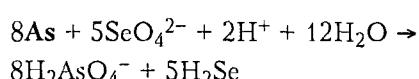
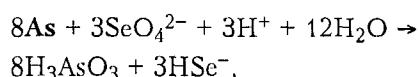
Таблица 1
Кристаллографические параметры веществ [19]

Соединение	Система	Параметры, Å
GaAs	Кубическая	5,646
GaP	Кубическая	5,447
As	Тригональная	4,123 (5,559)
As ₂ O ₃ (арсенополит)	Кубическая	11,068
–Ga ₂ O ₃	Тригональная	4,972; 13,402
As ₂ S ₃	Моноклинная	11,47; 9,57; 4,24
AsS	Моноклинная	9,27; 13,50; 6,56
GaS	Гексагональная	3,578; 15,47
–Ga ₂ S ₃	Кубическая	5,17
GaSe	Гексагональная	3,73; 15,88
Ga ₂ Se ₃	Кубическая	5,418
Ni	Кубическая	3,525
Ir	Кубическая	3,839
Rh	Кубическая	3,804

где X – атом халькогена, жирный шрифт указывает на твердое состояние. Изменение энергии Гиббса в реакциях составляет, соответственно, кДж: -81; -21; -101. В первых двух реакциях под действием сульфида натрия происходит перестройка слоя оксидов в сульфиды. На свободной от оксидов поверхности протекает окислительно-восстановительная реакция, результатом которой так же является формирование связей Ga-X, As-X. Толщина образованного слоя халькогенидов, по литературным данным, составляет порядка 0,7–1,5 нм [7]. Как правило, после халькогенирования на поверхности полупроводника существует смесь различных халькогенидов. Для халькогенидов мышьяка характерны «молекулярные фрагменты» [18]. Сульфид мышьяка As_2S_3 построен из гофрированных сеток, связь между которыми осуществляется за счет ван-дер-ваальсова взаимодействия. Внутри же сеток связи преимущественно ковалентные. Данный факт затрудняет формирование толстых слоев сульфида мышьяка. Халькогениды $A_2^{III}B_3^{VI}$ характеризуются большим числом полиморфных модификаций; для них реализуются и решетка сфалерита, и гексагональная вюрцитоподобная структура, и моноклинная [18–20]. Для Ga_2S_3 и Ga_2Se_3 известны [19] низкотемпературные структуры цинковой обманки. Халькогениды GaS , $GaSe$ проявляют гексагональную слоистую структуру. Следовательно, при формировании на поверхности арсенида галлия панослоя халькогенидов галлия высока вероятность образования по направлению [111] когерентного строения гетерограницы полупроводник –халькогенид– металл VIII группы. Однако растворы халькогенидов натрия не позволяют убрать с поверхности арсенида галлия элементный мышьяк, который включается в структуру гетерограницы металл–полупроводник, паруя когерентность перехода от полупроводникового монокристалла со структурой сфалерита к фазе металла с ГЦК решеткой. Для перевода элементного мышьяка в более растворимые соединения As (III, V) можно использовать растворы халькогенитов натрия, в которых возможно превращение, например, по реакции:



или селеновую кислоту:



Поэтому, применяя для халькогенирования арсенида галлия дополнительно к сульфиду натрия растворы Na_2SO_3 , Na_2SeO_3 или H_2SeO_4 , можно сформировать более совершенную структуру пограничного слоя между металлом и полупроводником. В результате при сопряжении кристаллических структур в системе арсенид галлия – халькогенид галлия – металл VIII группы таблицы Д.И. Менделеева перпендикулярно направлению [111] сохраняется ось третьего порядка. При этом, на переходе арсенид галлия – халькогенид галлия структуры сочетаются как 1:1, а на переходе халькогенид галлия – металл – как 2:3 [13, 14]. Достигается высокая симметрия границы раздела в вытягивающем контакте.

С другой стороны, проведенный термодинамический расчет изменения энергии Гиббса в возможных реакциях свидетельствует о том, что равновесие реакций халькогенирования поверхности полупроводника в водных растворах смещено в сторону образования связей $Ga-S(Se)$, $As-S(Se)$. Подобные превращения в среде паров серы и селена термодинамически запрещены [13, 14]. И для проведения халькогенирования поверхности полупроводников в парах необходимо спачала в жестких условиях удалить с поверхности оксиды компонентов полупроводника [7, 8]. Поэтому, применяя для халькогенирования водные растворы халькогенсодержащих соединений, можно при комнатной температуре получить желаемый технологический результат.

Третий фактор – это реализация на границе между металлом и полупроводником, в напоразмерном промежуточном слое халькогенидов, супрамолекулярных связей $Ga - S(Se) - Me$. В однозначной электронике хорошо известна особая роль атомов серы для создания проводящих мостиковых структур [21]. Благодаря таким структурам облегчается переход электронов через потенциальный барьер контакта за счет высоких коэффициентов трансмиссии, а это ведет к улучшению свойств барьера Шоттки [13, 14].

Высказанная гипотеза нашла свое подтверждение в проведенном эксперименте. В табл.2 представлено изменение электрофизических параметров выпрямляющих контактов, полученных при сульфидной и сульфидно-селенитной подготовке поверхности арсенида галлия, во времени их выдержки в воздушной атмосфере. Контакты, полученные на халькогенированной поверхности арсенида галлия, существенно превосходят по своим характеристикам контакты на окисленной поверхности полупроводника [13, 17]. Последовательная двуреагентная обработка в растворах Na_2S и Na_2SeO_3 увеличила стабильность электрофизических характеристик выпрямляющих контактов на арсениде галлия. На сульфидно-селенитную обработку поверхности арсенида галлия при создании

Таблица 2

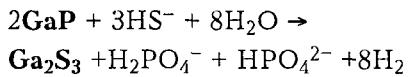
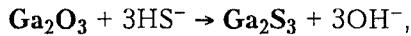
Электрофизические параметры выпрямляющих контактов от времени выдержки в воздушной атмосфере при 25°C

Контакт, ориентация полупроводника, концентрация электронов, см ⁻³	Обработка	Параметры	Время, час	
			0	240
Ni/GaAs, [111] B, (4-7) 10 ¹⁶	Na ₂ S	β	1,020,02	1,110,03
		Φ, эВ	0,880,05	0,780,04
Rh/Ir/GaAs, [111] A, 2 10 ¹⁶	Na ₂ S	β	0,990,02	1,080,02
		Φ, эВ	1,080,03	1,020,03
Ni/GaAs, [111] A, (4-7) 10 ¹⁶	Na ₂ S + Na ₂ SeO ₃	β	1,010,02	1,050,01
		Φ, эВ	0,630,01	0,610,02
Ni/Ir/GaAs, [111] B, (4-7) 10 ¹⁶	Na ₂ S + Na ₂ SeO ₃	β	1,030,02	1,060,02
		Φ, эВ	0,840,03	0,810,04
Ni/GaP, [100] A, (2-9) 10 ¹⁷	Na ₂ S	β	1,34±0,04	1,38±0,05
		Φ, эВ	0,90±0,02	0,90±0,02
Ni/GaP, [100] A, (2-9) 10 ¹⁷	Na ₂ S + Na ₂ SeO ₃	β	1,22±0,03	1,24±0,04
		Φ, эВ	0,97±0,02	0,97±0,01

выпрямляющих контактов Ni/GaAs *n*-типа получен патент Российской Федерации [22]. Положительный эффект получен также при использовании последовательной обработки арсенида галлия в растворах селеновой кислоты и тиосульфата натрия [23].

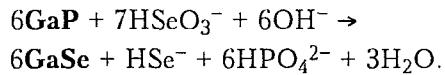
3. Пассивация фосфида галлия

Поверхность фосфида галлия после кислотного травления преимущественно содержит оксиды галлия. Фосфор при травлении полупроводника переходит в раствор виде соединений Р(V) [12]. Поэтому модификация поверхности фосфида галлия в растворах сульфида натрия связана с замещением связей Ga-O на связи Ga-S. На поверхности фосфидов после халькогенирования связей P-S не обнаруживается [7], что связано, очевидно, с неустойчивостью сульфидов фосфора в воде [18]. Протекающие на поверхности фосфида галлия процессы можно представить следующими реакциями:

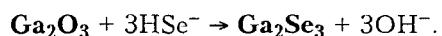


В проведенном натурном эксперименте с использованием однократной сульфидной обработки поверхности GaP в растворе Na₂S и с использованием двуреагентной обработки в растворах Na₂S и Na₂SeO₃ (табл.2) показано, что контакты Ni/GaP *n*-типа, полученные с применением однократной халькогениной обработки превосходят по своим

электрофизическими параметрам контактами на окисленной поверхности, но уступают контактам, сформированным при использовании сульфидно-селенитной обработки. Взаимодействие селениита натрия с фосфидом галлия можно описать реакцией:



Изменение энергии Гиббса в этом процессе составляет -3768 кДж. Поэтому при его реализации, возникающие гидроселенид-ионы, могут способствовать переходу остаточных оксидов галлия в селениды по реакции типа:



Можно предположить, что при двуреагентном варианте подготовки фосфида галлия на поверхности формируется слой халькогенидов переменного состава.

Принимая во внимание кристаллохимические и электрохимические параметры атомов граничного нанослоя, для фосфида галлия близким к идеальному должен быть сульфид галлия, так как характеристики атомов фосфора, лучшие сочетаются с характеристиками атомов серы, нежели селена. Это предположение справедливо, если принимать во внимание формирование относительно протяженных по толщине слоев халькогенидов на поверхности полупроводникового кристалла. Однако при формировании нанослоевых структур не стоит упускать из виду кристаллографические ме-

жатомные расстояния в поверхностных слоях полупроводника и халькогенида. Наименьшие искажения на гетерогранице будут, если на поверхности арсенида галлия и фосфида галлия сформируется нанослой селенида галлия, но не сульфида галлия (табл.1). Сравнение межатомных расстояний Ga-Ga в полупроводнике и халькогениде показало приоритет Ga_2Se_3 над Ga_2S_3 и GaSe над GaS при формировании когерентного гетероперехода металл – полупроводник с наноскопической границей раздела.

Как показали результаты компьютерного эксперимента с учетом взаимодействий атомов [24], сформированные по кристаллохимическим данным гетероструктуры переходов металл – полупроводник при наличии промежуточного слоя халькогенидов неустойчивы и подвержены процессам перестройки. При этом, реализоваться могут как тетраэдрическая, так и октаэдрическая решеточные структуры. Когерентность перехода сохраняется, а кристаллическое соотношение на границе слой халькогенида – металл меняется с 2:3 на 3:4.

Релаксированная октаэдрическая структура гетероперехода более устойчива по ближнему порядку, чем тетраэдрическая. В случае супрамолекулярной адсорбции монослоя атомов никеля на халькогенированную поверхность гетероперехода GaP-S кристаллохимическая наноструктура 2:3 неустойчива. Формируется структура дальнего порядка 1:1.

Из вышеотмеченного можно заключить, что создаваемые на границе раздела металл – полупроводник халькогенидные $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$ переходы представляют собой гетероструктуры, в которых слои халькогенидов $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$ образуют устойчивые на-наслоевые интерфейсы с когерентными структурами 3:4 и 2:3.

Заключение

Применяя пассивацию поверхности арсенида галлия n -типа соединениями халькогенов, сформированы выпрямляющие контакты Ni/GaAs n -типа, $\text{Ni}/\text{Ir}/\text{GaAs}$ n -типа, $\text{Rh}/\text{Ir}/\text{GaAs}$ n -типа с параметрами, близкими к идеальным, устойчивые к нагреванию в интервале 25–300°C и выдержке в атмосфере воздуха в течение 10 суток. Для фосфида галлия получены контакты Ni/GaP n -типа, устойчивые к воздействию кислорода воздуха при комнатной температуре в течение 10 суток. Однако, при повышенных температурах электрофизические параметры контакта меняются более чем на десять процентов. Данный факт требует дополнительного изучения. Сделана попытка сформировать контакты Rh/InP n -типа на халькогенированной поверхности фосфида индия. Полученные контакты имеют коэффициенты идеальности более близкие к единице, чем контакты на стандартно-

подготовленной поверхности в растворах кислотных травителей [15]. Термическая и окислительная устойчивость контактов на основе фосфида индия изучается.

Список литературы

1. Труды четвертой международной конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследование, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий» / Под ред. академика НАН Украины В.В. Скорохода. Украина, 2006, 418 с.
2. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М.: «Вышш. шк.», 1984, 288 с.
3. Томас Ф., Иванов А. САПР микроэлектроники. Этапы большого пути // Электроника: наука, технология, бизнес. 2006, №3, С.82–85.
4. Рыбалкина М. Нанотехнология для всех. www.nanonewsnet.ru, 65 с.
5. Драгунов В.П. Основыnanoэлектроники. Новосибирск, 2000, 332 с.
6. Батенков В.А. Электрохимия полупроводников. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002, 162 с.
7. Бессолов В.Н., Лебедев М.В. Халькогенидная пассивация поверхности полупроводников $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ // Физика и техника полупроводников. 1998, Т.32, №11, С.1281–1299.
8. Сумец М.П. Электронные процессы на гетерогранице $\text{Ga}_2\text{Se}_3\text{-GaAs}$, сформированные обработкой GaAs в парах селена. Автореф. ... кандидата физико-математических наук. Воронеж, 1999, 25 с.
9. Кириллова С.И., Примаченко В.Е. Электронные свойства сульфицированной поверхности арсенида галлия // Поверхность. 1994, №12, С.80–84.
10. Ботниарук В.М., Жиляев Ю.В., Коненкова Е.В. Сульфициальная пассивация силовых GaAs-диодов // Физика и техника полупроводников. 1999, Т. 33, №2, С.716–718.
11. Аитюшин В.Ф., Буданов А.В., Кухаренко Д.С., Палишкин Д.А. Кинетика начальной стадии халькогеновой пассивации полупроводников $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ // Физика и техника полупроводников. 2003, Т.37, №11, С.1349–1351.
12. Мокроусов Г.М. Перестройка твердых тел на границах раздела фаз. Томск: Изд-во ТГУ, 1990, 230 с.
13. Фомина Л.В. Физико-химические аспекты формирования нанослоевых контактов Ir–GaAs n -типа в условиях халькогеновой пассивации поверхности полупроводника и электрохимического осаждения металла // Автореф. ... кандидата химических наук. Барнаул, 2003, 24 с.
14. Безносюк С.А., Фомина Л.В. Моделирование строения и электрофизических характеристик наноскопических границ разделов выпрямляющих контактов Ni/Ir–GaAs n -типа // Вестник ТГУ. Бюллетень оперативной научной информации. 2003, №11, С.5–22.
15. Фомина Л.В., Безносюк С.А., Бочкарёв А.Г., Лебеденко С.Е., Сподарев В.М. Халькогенная обработка при формировании выпрямляющих контактов металлов VIII группы – полупроводник типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ // Известия АлтГУ. 2004, №3(33), С.42–48.
16. Фомина Л.В., Безносюк С.А., Лебеденко С.Е., Привалов А.В. Термодинамика процесса халькогеновой пассивации поверхности полупроводников типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ // Ползуновский Вестник. 2005, №4, С.139–142.

17. Батенков В.А., Фомина Л.В. Вольтамперные характеристики контактов электроосажденный иридий/арсенид галлия // Известия АлтГУ. 1998, №1, С.85–87.
18. Угай Я.А. Неорганическая химия. М.: «Высш. шк.», 1989, 463 с.
19. Справочника химика / Под ред. Б.П. Никольского. Л., 1973, Т.1.
20. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М., 1991.
21. Reed M.A. Prospects for molecular-scale electronics // MRS Bulletin. 2001, Vol.26, №2, Р.113–120.
22. Фомина Л.В., Безносюк С.А. Способ халькогенной обработки поверхности арсенида галлия *n*-типа. / Решение о выдаче патента на изобретение РОСПАТЕНТа ФГУ ФИПС. Заявка №2005113441/28 (015471) от 03.05.2005.
23. Фомина Л.В., Безносюк С.А., Лебеденко С.Е., Сподарев В.М. Халькогенная пассивация поверхности полупроводника при создании выпрямляющих контактов Ni/GaAs *n*-типа // Сборник научных трудов. В 2-х томах. Том 1: химия и химическая технология, техническая кибернетика, прочие науки. Ангарск: Изд-во АГТА, 2006, С.219–225.
24. Beznosyuk S.A., Fomina L.V., Fomin A.S., Mityunina N.S., Lebedenko S.E. Computer modelling of relaxation in nanolayer GaP-S-Ni contact // Материалы IX между. конф. «Арсенид галлия и полупроводниковые соединения группы III-V» «GaAs-2006». Томск: ТГУ, 2006, С.199–202.

Двигатель предварительного позиционирования для зондовых микроскопов

М.Г. Азарян

Введение

Работа зондового микроскопа сопряжена с изначальным *X*, *Y*, *Z*-позиционированием кончика твердотельного зонда, укрепленного на подвижном держателе, относительно выбранной области исследуемой поверхности (ИП) на расстоянии в несколько десятков нанометров от нее. Такое позиционирование призвано обеспечить регистрацию информативного сигнала, используемого в данном типе зондового микроскопа.

В конструкцию механизмов обеспечения осторожного, оберегающего от столкновения зонда с ИП, для достижения этой стартовой позиции необходимо вовлекаются механические редукторы перемещений [1–3]. Они преобразуют вращательное движение, обеспечиваемое электродвигателем или ручным управлением, в поступательное. Однако есть ситуации, в которых требуется проведение такой операции в трудно доступных условиях (например – высокого вакуума). Здесь предпочтительно дистанционное управление процессом перемещений. По этой причине прибегают к электрическим шаговым (с использованием вакуумно-совме-

стимого специального редуктора), «паучковым» [4,5] и инерционным двигателям [6, 7].

Работа с инерционными двигателями показала, что перемещение (в результате инерционного акта) держателя столика (или зонда), требуя попечной, по отношению к направлению перемещения, фиксации (под собственным весом в направляющем пазе [8] или упругим цанговым прижимом [9]), зависит и от сцепления с направляющими элементами. Оно диктуется фиксирующей силой, состоянием трущихся поверхностей держателя и направляющей. Это приводит к нестабильной работе двигателя. Решение же задачи обеспечения в одном инерционном двигателе еще и ортогональных *X*, *Y*-перемещений вовсе затруднительно. Оно потребует значительных конструктивных усложнений, что трудно совместить с необходимой малогабаритностью электромеханического тела микроскопа. Такая же зависимость от состояния рабочей поверхности присуща и «пучковым» двигателям с электростатической фиксацией

Ниже предлагается описание простого принципа работы и конструкции стендса и двигателя, способного обеспечить также и *X*, *Y*-перемещения.

При разработке его учитывались следующие требования:

- двигатель должен работать и в вертикальной конфигурации;
- принцип его работы должен позволить организацию широкого диапазона ортогональных перемещений;
- фиксация в позиции, уже достигнутой перемещением, должна обеспечиваться без привлечения электрического тока.

Всего этого можно достичь, если в конструкцию двигателя, паряду с электромагнитами (ЭМ), ввести и постоянный магнит (ПМ), а держатель выполнить в виде пластиинки. ЭМ реализуют «лапки», которые при подаче тока на катушки ЭМ, «захватывают» сцеплением держатель для «протаскивания» его относительно поверхности ПМ. После завершения такого перемещения над ПМ сцепление с ЭМ приводится к нулю, в то время как новое положение пластиинки-держателя удерживается неизменным сцеплением с ПМ. Таким образом, функция ПМ – удерживать перемещаемый держатель в статической позиции. Само перемещение обеспечивается стандартным, для подобных двигателей, способом – исполнительный элемент (ИЭ) под действием приложенного электрического сигнала увеличивается (уменьшается) в размерах, что приводит к смещению закрепленного на нем ПМ из первоначального положения.

Так как, по определению, держатель в зондовых микроскопах малогабаритен, удержание и по-