ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ И СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ И ФОТОВОЛЬТАИКЕ

И.Н.Каримов, С.Р.Алиев

Порали кремний асосидаги Шоттки барьерли структураларнинг ишлаш принципига асосланган ҳолда уларнинг оптоэлектроника ва фотовольтаикада қўллаш истиқболлари белгиланган. Кремний ва бошқа яримўтказгичли асосларга ва Шоттки барьерга эга бўлган қуёш фотоэлементларининг янги конструкцияси таклиф этилган.

***Калит сўзлар**: порали кремний, Шоттки барьери, оптоэлектроника, фотовольтаика*

В статье на основе анализа принципа работы структур с баръером Шоттки на основе пористого кремния выделена перспективность их использования в оптоэлектронике и фотовольтаике. Предложена новая конструкция солнечного элемента с барьером Шоттки на основе кремния и других полупроводников.

***Ключевые слова**: пористый кремний, барьер Шоттки, оптоэлектроника, фотовольтаика*

On the basis of analysis of the working principles f structures with Shottki barriers based on porous silicon this article studies the perspectives of their use in optoelectronic and photovoltaic systems.In this article on the basis of the analysis of a work principle of structures with Shottky barrier on

Key words: *porous silicon, Shottki's barrier, optoelectronics, photovoltaic elements.*

Не так давно были начаты исследования пористого кремния (ПК) - нового вида материала современной оптоэлектроники. Интерес к этому материалу связан следующими факторами: а) ПК имеет низкую плотность, что важно для создания относительно легких по массе оптоэлектронных приборов и солнечных элементов (СЭ) для космоса; б) наноразмерная неоднородность материала с одновременным сохранением кристаллической решетки в теле позволяет реализовать на его основе квантово-размерные эффекты; следовательно, имеется возможность создания сверхбыстродействующих приборов и светоизлучающих в широком спектральном диапазоне диодов.

Обнаружение фотолюминесценции ПК вызвало еще больший интерес исследователей [1]. Сначала были исследованы технологии получения ПК и достигнуты существенные результаты. Для формирования контактного барьера на ПК применены методы выращивания тонких пленок с противоположным типом проводимости. Другим перспективным способом формирования барьера на ПК является созданит барьера Шоттки (БШ). Такой выбор связан с трудностями формирования однородного по фронту *р-п*-перехода на ПК традиционными способами.

Авторы [2] экспериментально исследовали фотоэлектрические свойства структур с БШ на ПК, полученные методом электрохимического окисления монокристаллического кремния (МК). Были использованы МК *п*-типа с ρ=0,1 ÷ 0,01 Ом×см и на его основе создана структура Al-Si с толщиной пленки Si 1÷1,5 мкм. Омический контакт к МК создан напылением Al на обратную сторону подложки.

Максимальная чувствительность наблюдалась при падении света на структуру под углом 30÷45° и длинноволновая граница области спектральной чувствительности ~1,2 мкм находилась за пределами фундаментальной полосы поглощения МК. Оценка спектральной чувствительности на длине волны λ=0,93 мкм показала величину 0,1 А/Вт. При увеличении запирающего напряжения на структуре до величины, при которой обратный ток через неё превышает 10^{-7} А (3,5 В при Т=300 К и 6 В при Т=77 К) наблюдалось увеличение фототока во всём диапазоне спектральной чувствительности. Максимальный рост фототока при определенных режимах составляет 200-250 раз и свидетельствует о существовании эффекта усиления фототока. Причем, максимальное усиление фототока определяется, в основном, отношением сопротивлений слоя ПК при освещении и в темноте и сопротивлением перехода, образованного БШ, в режиме пробоя.

В структурах с БШ важное значение имеет удельное сопротивление базы. Так и при использовании сильнолегированного кремния, например с ρ=0.01 Ом×см., процесс выпрямления тока сильно ухудшается. Другими словами, контакт Al-p-Si становится омическим [3]. Эксперименты подтверждают, что при этом не наблюдается эффекта усиления фототока.

Полученные результаты в целом свидетельствуют о принципиальной и практической возможности создания фотоэлектрических приборов с внутренним усилением фототока на основе ПК с БШ.

Формирование БШ на пленочных полупроводниках и его соединениях представляет исследовательский интерес в области создания СЭ на их основе. Слой металла СЭ с БШ должен быть достаточно тонким, чтобы, не поглощаясь в металле, свет попал в полупроводник. Фототок состоит из трех составляющих. Первая из них обусловлена поглощением в металле фотонов с достаточной энергией для генерации дырок, переходящих через барьер в полупроводник. Вторая обусловлена попадающим в полупроводник коротковолнового света, поглощенным, главным образом, в области объемного заряда (ООЗ). Третья вызвана длинноволновым светом, поглощенным в объёме полупроводника. В условиях, типичных для работы СЭ, возбуждение светом носителей из металла в полупроводник составляет менее 1 % полного фототока.

Считается, что СЭ с БШ имеют некоторые преимущества [4]: а) технология изготовления является низкотемпературной; б) технология применима при создании поликристаллических и тонкоплёночных СЭ; в) сильное электрическое поле, существующее вблизи поверхности, способствует высокой радиационной стойкости СЭ; г) большой выходной ток и хороший спектральный отклик, что также обусловлено непосредственным примыканием ООЗ к поверхности, вследствие чего ослабляется негативное влияние малых времен жизни и высокой скорости поверхностной рекомбинации.

Два основных компонента спектрального отклика и фототока связаны с генерацией носителей в ООЗ и в базовой области. Сильное поле в ООЗ способствует быстрому выносу из него фотогенерированных носителей и снижению влияния рекомбинации.

Для увеличения фототока следует повышать коэффициент пропускания и диффузионную длину. Однако, его величина при любой заданной энергии фототока оказывается несколько меньшей за счет отражения и поглощения света металлической пленкой.

Чтобы получить большую высоту БШ, обычно для полупроводников *n*-типа используют металлы с высокой работой выхода, а для полупроводников *p*-типа - металлы с низкой работой выхода. Например, для Si *p*-типа используется двухслойный электрод (слой меди и хрома составляет 50 ангстрем), в котором хром служит для создания БШ, а медь используется в качестве защитного покрытия. Для большинства систем металл - полупроводник, создаваемых на однородных подложках, максимальная высота барьера составляет ~ $2/3E_g$. Для частичного преодоления такого ограничения в оптоэлектронном приборостроении между металлическим слоем и полупроводником осаждается тонкий окисный слой; формируется «металл-диэлектрик-полупроводник» (МДП) структуры [5].

Анализ научной литературы показывает, что другими инновационными путями решения проблемы, а именно конструкционными решениями специалисты почти не занимались. В данной работе сообщаются предварительные результаты попытки авторов по решению проблемы путем технического конструирования СЭ с БШ, основанного на реализации физической сущности разделения носителей заряда на поверхностно-барьерной структуре и поглощения света в металле.

С целью решения проблемы повышения эффективности СЭ с БШ на основе полупроводников и, в частности, кремния предложена новая конструкция. При этом тонкий металлический слой, образующий на границе с полупроводником БШ, осаждается на поверхность с определенной геометрией, учитывающей значение диффузионной длины основных носителей заряда.

Созданы лабораторные образцы СЭ с БШ на основе кремния размером 5×5 см^2, имеющие эффективность фотоэлектрического преобразования в 1,10÷1,25 раз за счет улучшения процесса фотогенерации электронно-дырочных пар в приповерхностном слое полупроводника. Сопоставление спектральных характеристик, созданных по новой и традиционной конструкции СЭ с БШ, свидетельствуют о существенном их различии. СЭ с новой конструкцией имеют более высокую чувствительность в коротковолновой части спектра.

Проведена расчетная оценка коэффициента собирания носителей заряда СЭ с БШ на основе измеренной монохроматором УМ-2 кривой их интегральной фоточувствительности. Установлена достаточно удовлетворительная корреляция результатов расчета и экспериментально полученная величина разницы фототока короткого замыкания, созданного контрольного СЭ. Детальные экспериментальные данные будут опубликованы в следующих статьях после завершения патентно-приоритетных работ.

Физическое обоснование действия новой конструкции в рамках теории БШ и разделения фотогенерированных носителей заряда в ООЗ барьера свидетельствует о том, что реализация разработанной конструкции позволяет создать СЭ с относительно высокой эффективностью не только на основе кремния, но и на других полупроводниковых материалах.

Литература:

1. P.C. Searcon, X.G. Zhang. J. Electrochem. Soc. v.137, p.2359 (1990).

2. Блынский В.И., Лазарук С.К., Малышев С.А., Мацкевич Т.П. Эффект усиления фототока в структурах Шоттки на пористом кремнии. // http://fep.tti.sfedu.ru/books/conferenc/pem2000/pape2/a077.pdf.html.

3. С.П. Зимин. ФТП, т. 34, в. 3, с. 359 (2000).

4. А.И.Лебедев. Физика полупроводниковых приборов.- М.: Физматлит, 2008. -488 с.

5. Н.Рахимов, О.К.Ушаков, Е.Ю.Кутенкова, С.Р.Алиев. Исследование МДП-структур и разработка оптоэлектронных приборов на их основе. // Научный вестник, 2011, №2, С. 14-17.

Андижон давлат университети,
Андижон машинасозлик институти,
2014 йил 20 майда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. Р.Алиев)