

ТЕХНОЛОГИИ

УДК 537.311.33:669.782

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОНТАКТАМИ НА ОСНОВЕ СИЛИЦИДА НИКЕЛЯА.О. КОРОБКО¹, Я.А. СОЛОВЬЁВ², О.Л. КАЙДОВ¹, В.В. ГЛУХМАНЧУК², А.П. ДОСТАНКО¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

²УП "Завод Транзистор"
Корженевского, 16, Минск, 220108, Беларусь

Поступила в редакцию 10 апреля 2009

Представлена разработанная технология создания тонкопленочных кремниевых солнечных элементов с контактами на основе силицида никеля. Достоинства разработанного технологического процесса, обуславливающие перспективность его внедрения в промышленных масштабах, заключаются в малых количествах использования дорогостоящего кремния по сравнению с другими фотоэлектрическими материалами, в оптимизации технологического процесса изготовления тонкопленочных кремниевых солнечных элементов и в использовании отработанных технологических методов и оборудования для получения функциональных контактных слоев в микроэлектронике. Достигнутая эффективность солнечных элементов на основе такой технологии составляет 8%, что соответствует мировым результатам для тонкопленочных кремниевых солнечных элементов.

Ключевые слова: солнечные элементы, поликристаллический кремний, технологический процесс, силицид никеля.

Введение

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в использовании возобновляемых источников энергии является развитие солнечной энергетики. В последнее десятилетие наблюдается значительное увеличение объема производства солнечных элементов: с 69,44 МВт суммарной мощности в 1994 г. до 2,1 ГВт в 2006 г. [1]. В то же время широкомасштабное внедрение наземной солнечной энергетики сдерживается рядом факторов, основным из которых является дефицит доступных по цене фотовольтаических материалов, обеспечивающих эффективную конверсию солнечной энергии в электрическое напряжение. В производстве солнечных элементов наиболее широко используется монокристаллический и крупноблочный поликристаллический (мультикристаллический) кремний, поскольку при изготовлении солнечных элементов на его основе применяются отработанные технологические процессы микроэлектроники. Традиционные методы получения поликристаллического кремния термическим разложением газофазных кремнийсодержащих соединений в реакторах стержневого типа, а также предложенные в последние годы усовершенствованные варианты технологии получения поликристаллического кремния (металлургические методы, фторидно-гидридные методы, технологические процессы получения гранулированного кремния в реакторе кипящего слоя) по-прежнему остаются дорогостоящими. Это обусловлено тем, что технологический процесс производства объемных кремниевых солнечных элементов характеризуется потерями до 60% материала на стадиях резки слитков на пластины и последующей обработки пластин.

Значительное снижение стоимости кремниевых солнечных элементов может быть осуществлено, в первую очередь, за счет формирования солнечных элементов в тонких слоях кремния [2, 3]. При этом особый интерес представляет одновременное увеличение эффективности фотовольтаического преобразования за счет снижения электрических потерь в областях контакта. Таким образом, тонкопленочная технология производства солнечных элементов с эффективными металлическими контактами становится возможной альтернативой традиционной технологии производства солнечных элементов на базе кремниевых пластин [4].

На сегодня основными направлениями развития тонкопленочной технологии являются: 1) кремниевые тонкопленочные солнечные элементы; 2) солнечные элементы на основе полупроводниковых соединений (полупроводники АПВ, CdTe, трехкомпонентные халькопиритные соединения меди и др.). Несмотря на то, что для солнечных элементов второй группы достигнуты высокие значения коэффициента полезного действия КПД (свыше 20% для солнечного элемента на основе GaAs и 17–20% для солнечного элемента на основе CuInSe₂), фотопреобразователи данного класса не получили широкого распространения вследствие высокой стоимости используемых в них материалов и применяются в основном в объектах специального назначения [5]. Вследствие этого все больший интерес вызывают технологические методы создания тонкопленочных структур на основе поликристаллического кремния.

Вместе с тем, основной проблемой при создании высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементов является качество создаваемых функциональных слоев, поскольку именно параметры наносимых материалов определяют эффективность создаваемых солнечных элементов. Данная работа посвящена исследованию процессов синтеза функциональных контактных слоев солнечных элементов на основе поликристаллического кремния с контактами из силицидов никеля Ni-(7%)V с целью оптимизации параметров создаваемых элементов.

Методика. Экспериментальная часть

Солнечные элементы формировали на подложках монокристаллического кремния марки КДБ 10 с кристаллографической ориентацией (111) диаметром 100 мм. Формирование фоточувствительной области осуществляли согласно двум вариантам. На части подложек в качестве фоточувствительной области использовали слои поликристаллического кремния толщиной 1,0 мкм, полученные химическим осаждением из газовой фазы, путем пиролиза моносилана при температуре 625°C и давлении 40 Па на установке "Изотрон-4-150". Затем осажденные слои дополнительно легировали фосфором для получения поверхностного сопротивления 1,0 Ом/м. На другой части подложек фоточувствительный слой формировали наращиванием эпитаксиального слоя *n*-типа проводимости толщиной 0,5 мкм и удельным сопротивлением 0,5 Ом·см хлоридным методом при температуре 1180°C на установке "Эпиквар-121". Далее процесс изготовления солнечных элементов включал следующие этапы:

- 1) пирогенное окисление фоточувствительного слоя при температуре 850°C до получения толщины слоя SiO₂ 0,1 мкм;
- 2) ионное легирование бором обратной стороны пластины (формирование омического контакта к обратной стороне подложки) дозой 500 мкКл и энергией 60 кэВ;
- 3) отжиг подложек в атмосфере кислорода при температуре 1100°C в течение 30 мин;
- 4) формирование со стороны фоточувствительного слоя окон в окисле фотолитографией с последующим химическим травлением окисла в буферном травителе для создания областей лицевого контакта. Для получения солнечного элемента требуемой конструкции в процессе фотолитографии использовали шаблон, содержащий сетчатый рисунок поперечно-пересекаемых полос, причем две центральные полосы делались более широкими для создания шин сбора электричества;
- 5) нанесение на фоточувствительный слой пленки сплава Ni-(7%)V толщиной 80 нм магнетронным распылением на установке "Магна-2М";
- 6) формирование силицидных контактов путем отжига структур при температуре 475°C в течение 30 мин. в атмосфере азота;
- 7) удаление непрореагировавших с кремнием остатков сплава Ni-(7 %)V в перекисно-соляном растворе;
- 8) нанесение на обратную сторону структур пленки алюминия толщиной 1,0 мкм;

9) вжигание алюминия при температуре 450°C в течение 30 мин. в атмосфере азота.

Измерение эффективности фотовольтаического преобразования изготовленных солнечных элементов производилось методом оценки максимальной генерированной мощности. Измерение напряжения холостого хода и тока короткого замыкания изготовленных элементов осуществлялось при освещении элементов естественным светом. Результирующая эффективность изготовленных элементов оценивалась по формуле:

$$\eta = IU/P,$$

где U — напряжение холостого хода элемента; I — ток короткого замыкания элемента; P — суммарная мощность падающего излучения.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований изготовленной экспериментальной партии образцов солнечных элементов в количестве 6 шт. установлено, что максимальный КПД элементов в условиях среднегодовой освещенности в Республике Беларусь (около 1000 Вт/м²) составляет 8% при генерируемой элементами разности потенциалов 97–98 мВ и плотности тока короткого замыкания 12–17 мА/см². При этом мировые значения величины коэффициента полезного действия в отработанных технологиях сравнимы с полученными нами и составляют около 9% [6]. Близкие к полученному значению величины КПД достигнуты с использованием методов химического осаждения из газовой фазы на подложках из рекристаллизованного металлургического кремния [4] и у пленок, рекристаллизованных после осаждения на многократно используемые подложки [7].

Данные невысокие значения КПД солнечных элементов как полученных в эксперименте, так и в мире, по всей видимости, объясняются несовершенной микроструктурой осажденного слоя, что приводит к интенсивной рекомбинации носителей на границах зерен и невысокому качеству p - n -перехода [8]. К наиболее эффективным методам снижения влияния границ зерен следует отнести гидрогенизацию и пассивирование границ [7, 8]. К другим мерам по усовершенствованию конструкции и технологии изготовления поликристаллических кремниевых солнечных элементов следует отнести:

- детальное исследование влияния процесса осаждения и его параметров на микроструктуру осаждаемых пленок;

- разработку метода осаждения крупнозернистых поликристаллических пленок большой площади с минимальной концентрацией глубоких примесных уровней и дефектов микроструктуры, таких как дислокации и вакансии;

- разработку соответствующей конструкции элементов с учетом потерь излучения и носителей заряда. Для решения данной проблемы необходима оптимизация толщины базового и верхнего слоев, структуры контактной сетки, параметров просветляющего покрытия и отражающего тыльного контакта, а также профиля распределения примеси в поверхностном слое. Кроме того, необходимо исследовать возможность улучшения собирания носителей заряда за счет уменьшения толщины фотоактивного слоя кремния и создания высокоотражающего тыльного контакта. В элементе такой конструкции двукратное прохождение света через слой кремния обеспечивает достаточно полное его поглощение;

- использование многослойной металлизации солнечного элемента. Металлизация солнечного элемента является важным функциональным параметром, влияющим на эффективность его работы. Основными требованиями, предъявляемыми к материалам тыльных контактов солнечных элементов, являются минимальное электрическое сопротивление, высокая адгезия материалов контакта к слою фотовольтаического материала, отсутствие в области контакта образующихся фаз с относительно высоким электрическим сопротивлением, а также большая величина коэффициента отражения в видимой и инфракрасной областях. Данная особенность создает возможности для многократного переотражения части проходящего через элемент светового потока для увеличения количества солнечного излучения, поглощаемого в фотоактивном слое. Дополнительным фактором при выборе материалов металлизации является стоимость используемых материалов. В соответствии с вышеперечисленными требованиями оптималь-

ным видится использование двухслойных контактов на основе силицида никеля в качестве подслоя и алюминия либо другого металла в качестве верхнего контактного слоя.

Заключение

Разработанная технология создания тонкопленочных кремниевых солнечных элементов с контактами на основе силицидов никеля обладает рядом достоинств, обуславливающих перспективность ее внедрения в промышленных масштабах: 1) относительно невысокой стоимостью слоев кремния по сравнению с другими фотоэлектрическими материалами; 2) простотой технологического процесса изготовления тонкопленочных кремниевых солнечных элементов 3) наличием отработанных технологических методов и оборудования для получения функциональных контактных слоев силицидов. Несмотря на полученную относительно невысокую эффективность фотовольтаического преобразования, продемонстрированы перспективные технологические приемы ее увеличения на базе отработанных технологий микроэлектроники.

Таким образом, продемонстрирована возможность создания фотоэлектрических преобразователей на основе тонкопленочных слоев поликристаллического кремния с контактами из силицидов никеля с использованием оборудования и методик, широко применяемых в микроэлектронике, что позволяет говорить о перспективности развития отрасли производства солнечных элементов на базе отечественных микроэлектронных предприятий.

THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THE FORMATION OF SOLAR CELLS WITH CONTACTS BASED ON NICKEL SILICIDE

A.O. KARABKO¹, Y.A. SOLOVIEV², O.L. KAIDOV¹, V.V. GLUCHMANCHUK²,
A.P. DOSTANKO¹

Abstract

The developed technology of formation of thin film silicon solar cells with contacts based on nickel silicide is offered. The advantages of the developed technological process that prospectively allow to introduce it in the industrial scale consist in the use of small quantities of expensive silicon in comparison with other photovoltaic materials, in the optimization of technological process of production silicon solar cells and in the presence of well adjusted technological methods and equipment for formation of functional contact layers in microelectronics. The obtained efficiency of solar cells based on such technology is 8%, which correlates with the world's results for production of thin film silicon solar cells.

Литература

1. *Kreutzmann A.* // *Photon: Das Solarstrom-Magazin.* 2007. № 1. P. 3.
2. *Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д.* // *Физика и техника полупроводников.* 2004. Т. 38 (8). С. 937–948.
3. *Достанко А.П., Василевич В.П., Кайдов О.Л.* // *Докл. БГУИР.* 2005. Т. 1, № 9. С. 73–81.
4. *Bernreuter J.* // *Photon: das Solarstrom-Magazin.* 2004. № 6. P. 66–70.
5. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / Ed. by A. Luque and S. Hegedus.* Wiley, 2003. 1186 p.
6. *Photon International. The Photovoltaic Magazine.* 2008. № 2. P. 152.
7. *Ahmed W., Meakin D.B., Stoemenos J., Migliorato P., Economou N.A.* // *Proc. 10th Int. Conf. Chem. Vapour Deposit.* Pennington, 1987. P. 449–456.
8. *Kopke R, Siemer J.* // *Photon: Das Solarstrom – Magazin.* 2006. № 5. P. 26–36.