

УДК 621.315.592

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

М.Н. Турсунов, У.Б. Абдиев, С.Н. Дадамухаммедов, Б.Ф. Мирзамуродов.  
Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце» АН РУз: 700084,  
Узбекистан, Ташкент, ул. Мавлянова, 2б, тел: (998-71) 235-35-70.  
E-mail: [umr79@mail.ru](mailto:umr79@mail.ru)

*В работе исследованы особенности технологических путей создания микрорельефа на фронтальной поверхности солнечных элементов на основе монокристаллического кремния. Исследованы фотозлектрические параметры полученных структур.*

*Ключевые слова:* монокристаллический кремний, микрорельеф, диффузия, солнечный элемент.

### Введение

Для уменьшения потерь отражения солнечного излучения был разработан метод обработки поверхности кремния, позволивший создать неотражающий или «черный» элемент приповерхностной области кремния. Отличие такого солнечного элемента (СЭ) – особый пирамидальный текстурированный рельеф на фронтальной поверхности СЭ. В результате даже в отсутствие просветляющей пленки на поверхности СЭ подобный рельеф снижает коэффициент отражения до 10%, а при нанесении просветляющей пленки коэффициент отражения снижается до 2-3% интегрально по всему солнечному спектру. Дополнительный эффект текстурирование поверхности – уменьшение глубины проникновения света, следовательно в результате возрастания коэффициента поглощения света происходит увеличение коэффициента сбора и плотности фототока [1, 2].

### 1. Постановка задачи

1. Исследовать пути создания микрорельефа на фронтальной поверхности СЭ на основе монокристаллического кремния.
2. Исследовать и оптимизировать технологию получения микрорельефных кремниевых солнечных элементов;

### 2. Основной материал и результаты

СЭ были изготовлены на основе пластины полупроводникового кремния. В простейшем случае СЭ содержит p-n переход, расположенный на небольшой глубине от освещаемой поверхности полупроводника (до 1,5 мкм). В пластине создаются области с p- и n-типами проводимости путем введения в полупроводник соответствующих примесей. Получив p-n переход, изготавливаются нижний и верхний электроконтакты, причем нижний контакт-сплошной, а верхний выполняется в виде гребенчатой структуры, тонкие полосы, соединенные более широкой шиной (рис. 2). Контакты p- и n- полупроводников приводят к образованию между ними контактного электрического поля, играющего важную роль в работе СЭ. На рис. 1 нами представлена схема технологических линий создания микрорельефа на фронтальной поверхности СЭ на основе монокристаллического кремния.

Создание микрорельефа на фронтальной поверхности СЭ можно разделить на 5 этапов:

- 1) подготовка вакуумной установки для термического напыления элементов Ge на подложку;
- 2) определение оптимального угла напыления;
- 3) получение вакуума;
- 4) напыления германиевого слоя под скользящими углами на фронтальную поверхность пластин;
- 5) удаление с поверхности пластин слоя Ge.

Для отработки технологии нами на плоскую подложку кремния под углом был нанесен слой Ge. В результате на поверхности кремния были получены регулярные структуры. Для предлагаемого метода разброс высот микрорельефа колеблется от 0,24 до 0,72 мкм. Средняя высота по 10 измерениям на этом образце составляет 0,46 мкм.

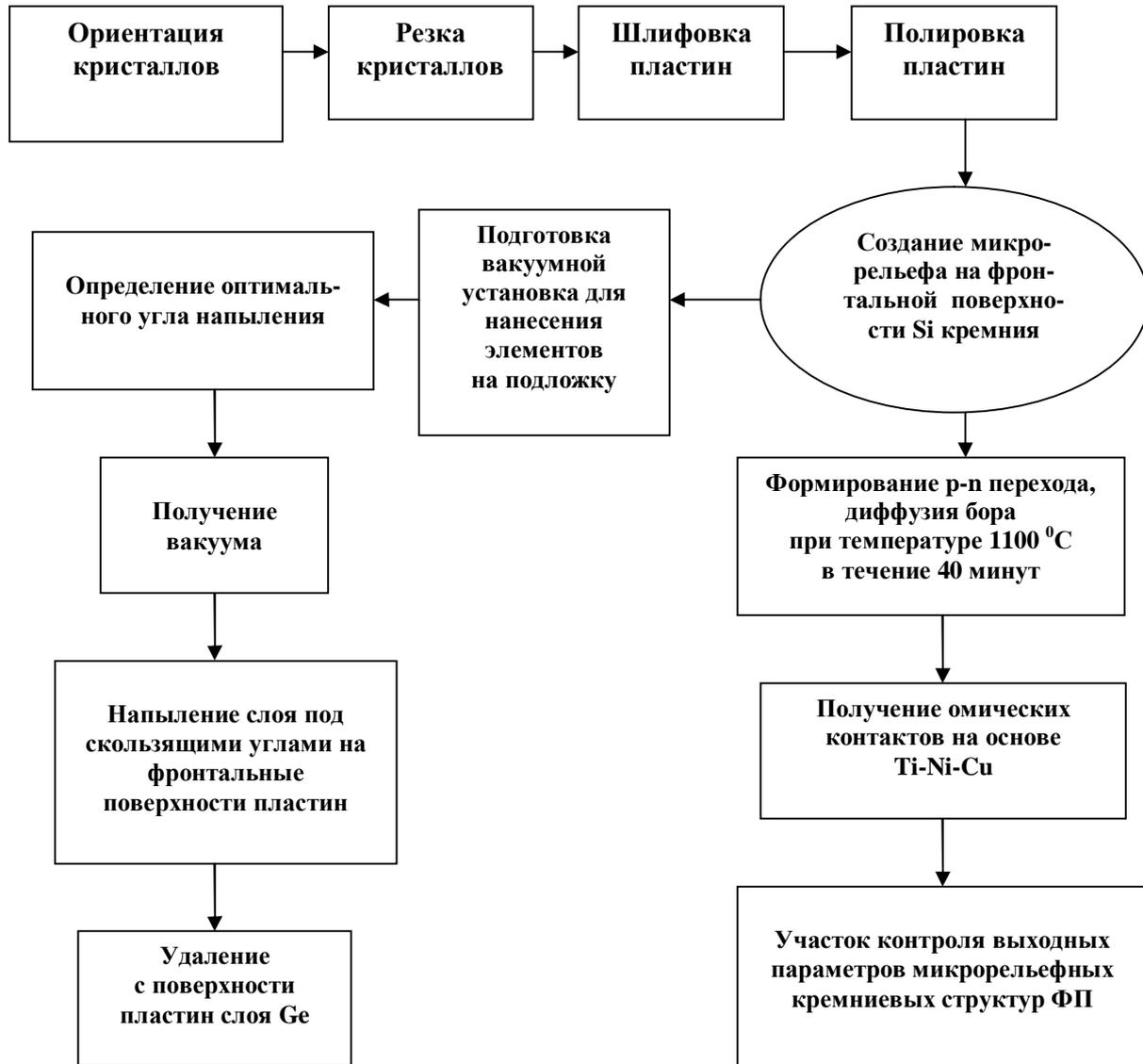


Рис. 1. Технологические схемы создания микро-рельефа

Нами для формирования структуры СЭ были использованы плоскопараллельные пластины монокристаллического кремния *n*-типа проводимости толщиной 300-350 мкм, на структуре *p-n* перехода (рис. 2.) фронтальная область была *p*-типа 0,3-0,4 мкм. Металлические контакты формировались на основе Ti-Ni-Cu, при этом на фронтальной стороне контакта (маскированный), на лицевой его поверхности создается микро-рельефный слой из германия толщиной 0,4-0,7 мкм [3, 4].

В целом предложенный нами метод получения кремниевых СЭ на основе *p-n* перехода заключается в применении микро-рельефных слоев, в базовой и фронтальной областях, а также изотипных переходов под контактами, пассивацией тыльной и текстурированной фронтальной поверхности структуры.

В результате применения разработанной нами технологии создания микро-рельефа на фронтальной поверхности СЭ на основе монокристаллического кремния было установлено расширение спектральной чувствительности и, в конечном итоге, увеличение эффективности на 12-15% относительно традиционной технологии, то есть, при отсутствии микро-рельефа. Сравнение значений фотоэлектрических параметров кремниевых СЭ с микро-рельефом и без при падающем солнечном излучении  $E_{\text{пад}} = 83 \text{ мВт/см}^2$  приведено в табл. 1.

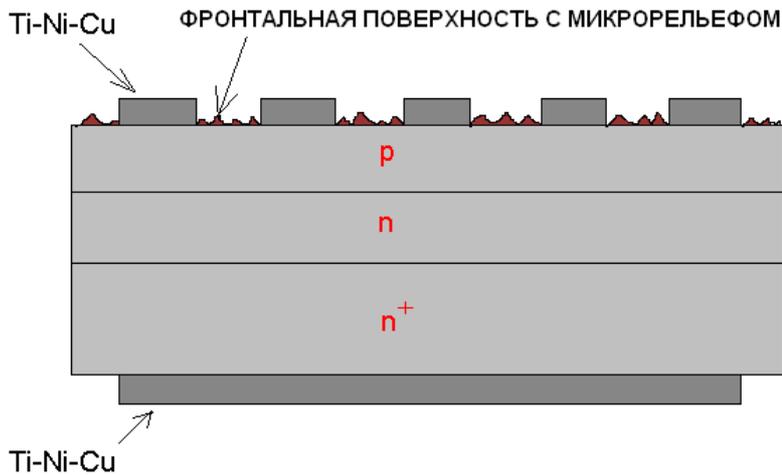


Рис. 2. Структура СЭ на базе монокристаллического кремния с микрорельефной поверхностью и соответствующими толщинами слоев:  $p$ -слой (0,3-0,4 мкм);  $n$ -слой (1-3 мкм);  $n^+$ -слой (300 мкм)

Таблица 1. Фотоэлектрические параметр кремниевых СЭ с микрорельефом и без.

№ СЭ	$I_{кз}$ , (мА/см <sup>2</sup> )	$U_{хх}$ , (В)	$\xi$	$\eta$ , %
1	31 / 25	0,55 / 0,51	0,7 / 0,6	14,3 / 9,2
2	30 / 24	0,56 / 0,51	0,67 / 0,61	13,5 / 9,0
3	30 / 25	0,55 / 0,50	0,7 / 0,61	14 / 9,1
4	31 / 26	0,55 / 0,52	0,7 / 0,62	14,4 / 10,0
5	31 / 26	0,54 / 0,52	0,75 / 0,64	15,1 / 10,4

Как видно из данных табл. 1, наличие микрорельефа на поверхности кремния приводит к увеличению значений фотоэлектрических параметров СЭ.

### Выводы

1. Выявлены основные особенности технологии текстурирования поверхности кремниевых солнечных элементов, которые позволили уменьшить коэффициент отражения от поверхности СЭ до минимума и значительно улучшить электрофизические параметры изготавливаемых СЭ.

2. Определены основные технологические режимы создания микрорельефа с помощью химического анизотропного травления, нанесения селективных покрытий с дальнейшим травлением, нанесения покрытий под скользящими углами, то есть при напылении с углами между нормалью к поверхности подложки и направлением испарения.

### ЛИТЕРАТУРА

- Колтун, М. М. «Солнечные элементы» / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1987.
- Бахадирханов, М. К. Физика и технология солнечных элементов (часть I) / М. К. Бахадирханов, Г. О. Кобылин, С. А. Тачилин. – Ташкент. – 2007. – С. 111.
- Муминов, Р. А. Исследование возможности получения микрорельефа на фронтальной поверхности структур СЭ с использованием селективных покрытий / Р. А. Муминов, М. Н. Турсунов, У. Б. Абдиев, З. С. Сетгарова // Гелиотехника. – Ташкент. – 2008. – № 1. – С. 54-59.
- Абдиев, У. Б. Формирование фоточувствительных структур на основе текстурированного монокристаллического кремния / У. Б. Абдиев // Физика фанининг бугунги ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни : материалы республиканской научной конференции. – Ташкент, 4-5 июня 2008 г. – С. 43-48.

Отримано редакцією 12.10.2009 р.

- © Турсунов М.Н., 2009.  
© Абдиев У.Б., 2009.  
© Дадамухаммедов С., 2009.  
© Мирзамуродов Б., 2009.

**Турсунов Мухамад Нишанович**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник. Физико-технический институт Научно-производственное объединение “Физика-Солнце” Академии Наук Республики Узбекистан. Ташкент-52, ул. Н. Рахимова, 156А. Тел.: (9983712)2353570, e-mail: [khurshed@uz.sci.net](mailto:khurshed@uz.sci.net)

**Абдиев Умирбек Бегматович**, кандидат технических наук, младший научный сотрудник. Физико-технический институт Научно-производственное объединение “Физика-Солнце” Академии Наук Республики Узбекистан. Ташкент, М. Улугбекский район, ул. Ходжаева, 51. Тел.: (99871)235-40-32, e-mail: [umr79@mail.ru](mailto:umr79@mail.ru)

**Дадамухаммедов Суннатулла**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Физико-технический институт Научно-производственное объединение “Физика-Солнце” Академии Наук Республики Узбекистан. Ташкент, Пушкина Салар, д. 3, кв.18. Тел.: (9983-71)2353570, e-mail: [khurshed@uz.sci.net](mailto:khurshed@uz.sci.net)

**Мирзамуродов Бахадир**, соискатель. Термезский государственный университет им. М.Т. Айбека. Республика Узбекистан, г. Термез, ул. Ф. Ходжаева, 43. Тел.: (+99893)638-83-10, e-mail: [umr79@mail.ru](mailto:umr79@mail.ru)