

06

Вентильный фотоэлемент на основе кремния со стабилизированным напряжением

© М.К. Бахадырханов, Х.М. Илиев, С.А. Тачилин

Ташкентский государственный технический университет им. А.Р. Беруни,
Ташкент, Узбекистан

(Поступило в Редакцию 21 декабря 1995 г.)

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, полученные в ходе проведенных исследований по влиянию уровня легирования как базовой, так и фронтальной областей кремниевых вентильных фотоэлементов, глубины залегания $p-n$ -перехода на вольт-люксовую характеристику с целью определения оптимальных значений концентрации легирующих примесей, получения фотоэлементов, эффективно работающих при низких интенсивностях светового излучения с малоизменяющимся значением напряжения.

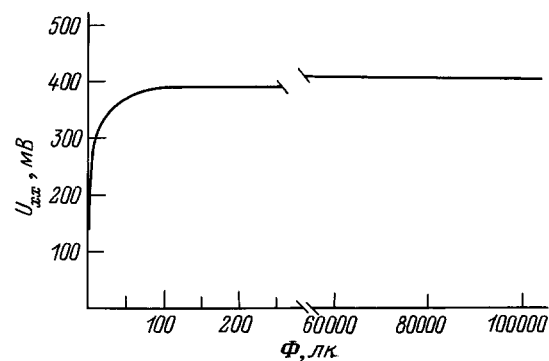
При использовании вентильных фотоэлементов как источников питания появляется требование обеспечения как можно большего напряжения холостого хода при низких уровнях освещенности (порядка 100 лк) и сохранения данного напряжения на одном уровне при увеличении интенсивности падающего света. Почти трехкратное увеличение напряжения не позволяет использовать фотобатареи, собранные на основе стандартных вентильных фотоэлементов, непосредственно для питания радиоэлектронных устройств. Так, напряжение фотобатареи, собранной из пяти фотоэлементов на основе монокристаллического кремния, будет иметь [1] напряжение 1 В при 100 лк и 3 В при 100 000 лк (интенсивность солнечного света в условиях АМ1). Фотобатарея, собранная на основе аморфного кремния, будет иметь 1.5 и 5 В соответственно [2]. В данном случае необходим дополнительный электронный блок корректировки напряжения, подключаемый параллельно фотобатарее, который, ограничивая напряжение, должен предотвратить выход из строя радиоэлектронное устройство из-за увеличивающегося напряжения питания. Данная проблема требует разработки и создания фотоэлементов со стабилизированным напряжением, при использовании которых необходимость в данном блоке отпадает, так как корректировка напряжения будет осуществляться непосредственно самими фотоэлементами.

Для исследований выбирались монокристаллические кремниевые пластины p -типа проводимости с уровнем легирования бором от 10^{14} до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Фронтальная n -область формировалась легированием фосфором с концентрацией от 10^{15} до 10^{19} см^{-3} . Концентрация фосфора не превышала 10^{19} см^{-3} с целью предотвращения образования мертвого слоя на поверхности.

Фотоэлемент изготавливался в виде плоскопараллельной пластины с $p-n$ -переходом на кремниевой подложке толщиной 380 мкм, размером 10×10 мм с двумя металлическими контактами: точечным лицевым и сплошным тыльным. На лицевой поверхности формировалось просветляющее покрытие из оксида кремния толщиной 1400 Å.

Анализ параметров фотоэлементов при низких уровнях освещенности и изменение их при увеличении интенсивности падающего света показывают, что наиболее оптимальные уровни легирования базовой и фронтальной областей 10^{15} и 10^{16} см^{-3} соответственно при глубине залегания $p-n$ -перехода не менее 5 мкм. При данных уровнях легирования высота потенциального барьера $p-n$ -перехода понижена, что соответствует напряжению холостого хода фотоэлементов на Солнце 400–410 мВ в условиях АМ1. Глубокое залегание $p-n$ -перехода (порядка 5–10 мкм) обеспечивает наиболее эффективное разделение неосновных носителей тока при работе фотоэлемента на рассеянном свете в условиях пониженной интенсивности светового потока, а также получение предельно низкого обратного тока насыщения и снижение влияния на генерацию неосновных носителей ультрафиолетовой части спектра при работе фотоэлемента на прямом солнечном излучении.

При более высоких уровнях легирования базовой и фронтальной областей или же одной из областей и минимальном уровне легирования другой в пределах, указанных выше, наблюдаются сильная зависимость



Вольт-люксовая характеристика кремниевых вентильных фотоэлементов со стабилизированным напряжением.

напряжения фотоэлементов от освещенности и малые значения тока и напряжения при низких уровнях освещенности даже при достаточно глубоком (порядка 10 мкм) залегании $p-n$ -перехода, что обусловлено повышенными токами утечки. Следует отметить, что напряжение фотоэлементов при низких интенсивностях светового излучения также сильно зависит от глубины залегания $p-n$ -перехода. Так, даже в случае оптимального уровня легирования при глубине залегания $p-n$ -перехода до трех микрон наблюдается сильная зависимость напряжения фотоэлементов от освещенности.

В результате проведенных исследований разработана специальная методика получения фотоэлементов на основе монокристаллического кремния для эффективного преобразования световой энергии в электрическую при низких уровнях освещенности со стабилизированным значением напряжения [1]. На рисунке показана зависимость напряжения полученных с учетом оптимального уровня легирования базы и фронтальной области фотоэлементов от освещенности. Как видно, в точке, соответствующей освещенности в 50 лк, зависимость начинает переходить в режим насыщения и при 100 лк становится линейной, темп роста напряжения уменьшается и дальнейший прирост напряжения при увеличении интенсивности падающего света до уровня в 100 000 люкс составляет не более 10% от первоначального значения при 100 лк, что соответствует 0.2 мкВ на 1 лк. Для единичной фотопреобразующей структуры при температуре 25°C характерны следующие параметры: при 50 лк $U_{xx} = 370$ мВ, $J_{кз} = 50$ мкА/см², при 100 люкс $U_{xx} = 390$ мВ, $J_{кз} = 90$ мкА/см², на Солнце АМ1 $U_{xx} = 410$ мВ, $J_{кз} = 1000$ мкА/см². При интенсивностях ниже 50-100 лк вольт-люксовая зависимость нелинейна и напряжение фотоэлементов имеет следующие значения: при 5 лк $U_{xx} = 290$ мВ, при 0.5 лк $U_{xx} = 200$ мВ, при 0.1 лк $U_{xx} = 130$ мВ.

Список литературы

- [1] *Wagner P.* // *Microelectron. J.* 1988. Vol. 19. N 4. P. 37–50.
- [2] *Abeles B., Cody G.D., Goldstein Y. et al.* // *Thin Solid Films.* 1982. Vol. 90. N 4. P. 441–449.
- [3] *Бахадырханов М.К., Илиев Х.М., Тачилин С.А.* // Тез. докл. Междунар. конф. "Новые материалы и приборы". Ташкент, 1994. С. 128.