

ФОТОЭЛЕМЕНТ, ИМЕЮЩИЙ ДВА КОНТАКТА Ti-p-Si С БАРЬЕРОМ ШОТКИ И ОМИЧЕСКИЙ СИЛИЦИДНЫЙ КОНТАКТ NiSi-p-Si

Рассмотрены способ изготовления и результаты исследования фотоэлектрических характеристик двухспектрального фотоэлемента, имеющего два контакта с барьером Шоттки Ti-p-Si на одной стороне кремниевой пластины и омический силицидный контакт NiSi-p-Si, расположенный на противоположной стороне пластины. Показано, что исследованный фотоэлемент может быть использован для преобразования энергии излучения в электрическую энергию при комнатной температуре в двух диапазонах: либо в ближней инфракрасной области спектра (0,9–1,4) мкм, либо в области (0,5–1,4) мкм. Это свойство разработанного фотоэлемента позволит расширить его область применения. Фотоэлемент обладает простой структурой и технологией со временем его изготовления в интервале (2,5–3) часа.

Ключевые слова: способ изготовления фотоэлемента, кремний *p*-типа, контакты с барьером Шоттки Ti-p-Si, омический контакт NiSi-p-Si.

Введение. Известны фотодетекторы [1, 2], содержащие пластину кремния *p*-типа, на одной стороне которой расположены омический контакт Al-*p*-Si и силицидный контакт PtSi-*p*-Si с барьером Шоттки. При освещении фотодетекторов со стороны контакта PtSi-*p*-Si они действуют в широком спектральном диапазоне, включающем в себя часть ультрафиолетовой, видимую и инфракрасную области спектра. Однако для обеспечения работы этих фотодетекторов требуется их охлаждение до температур (10–80) К, что является недостатком этих фотодетекторов.

Наиболее близким по технической сущности к исследованному в настоящей работе фотоэлементу является фотоэлемент [3], содержащий пластину кремния *p*-типа, на одной плоскости которой расположены омический контакт Al-*p*-Si и первый контакт Al-*p*-Si с барьером Шоттки, освещаемый через кремниевую пластину. Этот фотоэлемент снабжен дополнительно вторым контактом Ti-*p*-Si с барьером Шоттки, расположенным напротив омического контакта Al-*p*-Si на плоскости кремниевой пластины, которая противоположна плоскости с омическим контактом Al-*p*-Si, при этом контакты с барьером Шоттки имеют форму дисков, которые не касаются боковых граней кремниевой пластины. Фотоэлемент действует *при комнатной температуре* в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм при использовании контакта Al-*p*-Si, освещаемого через Si пластину, а при использовании контакта Ti-*p*-Si, освещаемого со стороны полупрозрачного слоя Ti, он действует в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм.

Следует отметить, что электрические свойства контактов Al-*p*-Si и Ti-*p*-Si с барьером Шоттки были исследованы ранее в большом количестве работ,

например, в [4–10]. Однако информация о фотоэлементах с барьерным контактом Al-Si ограничена сведениями об их применении в структурах солнечных элементов [11], а сведения о фотоэлементах с барьерным контактом Ti-Si практически отсутствуют. Кроме этого, конструкционным недостатком фотоэлемента, исследованного в работе [3], является выполнение омического контакта к пластине кремния в виде контакта Al-*p*-Si, внешняя поверхность которого покрывается пленкой оксида алюминия во время высокотемпературного вжигания (540 °С) пленки алюминия в кремний в вакууме при давлении остаточных газов – (9–10)·10⁻³ мм рт. ст., что приводит к нестабильности внешнего электрического контакта к фотоэлементу при измерениях его параметров. Задачей исследований в настоящей работе является разработка структуры и способа изготовления фотоэлемента, который не обладает таким конструкционным недостатком. Решение этой задачи заключается в применении тонкопленочных силицидов металлов, которые образуют низкоомные контакты, имеют низкое поверхностное сопротивление и малое проникновение в кремний, обладают высокой стабильностью электрических характеристик и очень хорошей адгезией к кремнию [12–15]. В связи с этим представленные в настоящей работе экспериментальные результаты исследования двухспектрального фотоэлемента, имеющего два контакта с барьером Шоттки Ti-*p*-Si на одной стороне кремниевой пластины и омический силицидный контакт NiSi-*p*-Si, расположенный на противоположной стороне пластины, представляют определенный интерес.

Экспериментальные методики и результаты. В данной работе для изготовления эксперимен-

тальных образцов использовалась полированная с одной стороны пластина кремния *p*-типа (марка: 100-2Вк-2кдб10-(111)4°-460, номинальное значение удельного сопротивления — 10 Ом·см, толщина пластины — 460 мкм), которая была разрезана на образцы с размерами 8×12 мм². Один из прямоугольных уголков (с длиной катета 1 мм) каждого образца был срезан для визуальной фиксации его полированной стороны.

Непосредственно перед вакуумным осаждением металла (никеля) омических контактов кремниевые образцы промывали в этиловом спирте и ацетоне, очищали (от SiO₂) в растворе HF+H₂O (1:1) в течение 70–80 секунд с последующей промывкой в дистиллированной воде и ацетоне. Затем кремниевые образцы помещали в свободную металлическую маску с прямоугольными отверстиями с размерами 6×5 мм², которую устанавливали в вакуумную камеру установки УВН 2М1. Вакуумную камеру откачивали до давления остаточных газов (1,5–2)·10⁻⁵ мм рт. ст., отжигали кремниевые образцы в вакууме в течение 10–15 минут при температуре 220 °С, после чего при этой температуре образцов выполняли локальное осаждение тонкой пленки Ni (с толщиной 36 нм) путем испарения навески никеля с массой 60 мг из *W* испарителя [16] (четыре *W* проволоки длиной 65 мм и диаметром 0,8 мм, соединенные параллельно на всей длине испарителя) и осаждения атомов Ni через отверстия в маске на неполированные поверхности кремниевых образцов с последующим осаждением на пленку Ni (в одном процессе откачки вакуумной камеры) пленки серебра (Ag) толщиной 200 нм путем испарения Ag из танталовой лодочки. Затем полученные кремниевые образцы с осажденными контактами NiAg дополнительно отжигали в вакуумной камере (давление — (9–10)·10⁻³ мм рт. ст.) при температуре 540 °С в течение 20 минут в кварцевой трубчатой печи сопротивления, что обеспечивало образование силицидных омических контактов к кремнию *p*-типа [12–15, 17]. Во время высокотемпературного вжигания (540 °С) осажденных контактов NiAg в кремний в вакууме при давлении остаточных газов — (9–10)·10⁻³ мм рт. ст. пленка серебра с толщиной 200 нм защищала силицидные омические контакты NiSi-*p*-Si от воздействия молекул остаточных газов, и одновременно с этим происходило слабое окисление поверхности кремниевых образцов вне областей контактов AgNiSi-*p*-Si. При последующем изготовлении двух контактов Ti-*p*-Si с барьером Шоттки на обратной полированной плоскости каждого кремниевого образца имело место формирование MIS (металл-изолятор-полупроводник)-структур на границе между Ti и *p*-Si с очень тонким слоем оксида кремния на этой границе [8, 10, 11].

Контакты Ti-*p*-Si были созданы на полированных плоскостях кремниевых образцов путем термовакуумного испарения малой навески титана (с массой 8 мг) из вновь изготовленного *W* испарителя [16] (четыре *W* проволоки длиной 65 мм и диаметром 0,8 мм, соединенные параллельно на всей длине испарителя), который предварительно отжигали в глубоком вакууме при 1200–1400 °С. Локальное осаждение (через отверстия диаметром 4 мм в маске) тонкой пленки Ti толщиной 9,6 нм в виде двух дисков диаметром 4 мм на полированной плоскости каждого кремниевого образца было выполнено при давлении остаточных газов (1,5–2)·10⁻⁵ мм рт. ст. и температуре кремниевых образцов 120 °С, что приводило к образованию двух

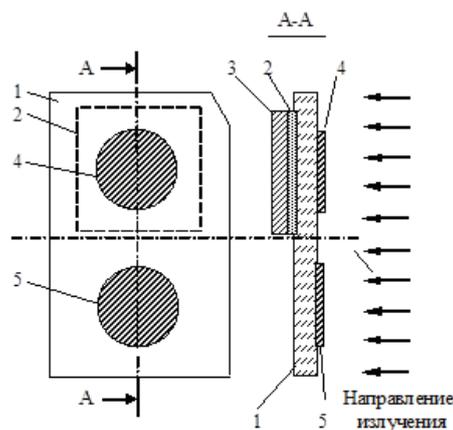


Рис. 1. Вид на экспериментальный образец со стороны полированной поверхности кремниевой пластины и его сечение по А-А:

- 1 — пластина кремния *p*-типа;
- 2 — омический силицидный контакт NiSi-*p*-Si на неполированной стороне кремниевой пластины 1;
- 3 — защитная пленка Ag на омическом контакте 2;
- 4 — контакт Ti-*p*-Si с барьером Шоттки, расположенный на полированной плоскости кремниевой пластины 1 (напротив омического контакта 2);
- 5 — контакт Ti-*p*-Si с барьером Шоттки на полированной плоскости кремниевой пластины 1

контактов Ti-*p*-Si с барьером Шоттки (один из которых расположен напротив омического контакта NiSi-*p*-Si) к кремнию *p*-типа на полированной плоскости каждого кремниевого образца.

Таким образом, в результате реализации вышеописанного технологического процесса на каждом кремниевом образце 1 был создан фотоэлемент, содержащий силицидный омический контакт 2 (NiSi-*p*-Si) с защитной Ag пленкой 3, расположенный на неполированной стороне образца, и два контакта 4 и 5 (Ti-*p*-Si) с барьером Шоттки, расположенные на противоположной полированной плоскости кремниевого образца 1, причем один из них (контакт 4) был расположен напротив омического контакта 2 (NiSi-*p*-Si) (рис. 1). На рис. 1 стрелками показано направление потока излучения при освещении контактов 4 и 5 (Ti-*p*-Si) через полупрозрачный слой Ti. Направление потока излучения при освещении контакта 5 (Ti-*p*-Si) через кремниевую пластину 1 на рис. 1 не показано.

В данной работе были измерены (при $T = 295$ К) электрические характеристики контактов с барьером Шоттки: темновые статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) (с помощью мультиметров M890C и MY-60) и C-V-характеристики с использованием высокочастотного измерителя E7-9, в котором измерение емкости производится на рабочих частотах (700–300) кГц, а также фотоэлектрические характеристики контактов с барьером Шоттки: спектр фото-э.д.с. в фотовольтаическом режиме (режим холостого хода фотоэлемента) и спектр тока короткого замыкания в фотовольтаическом режиме. На основе использования этих характеристик определена высота барьера Шоттки Φ_{bp} контактов методами ВАХ и C-V-характеристик, а также фотоэлектрическим методом путем применения спектров тока короткого замыкания контактов с барьером Шоттки [18]. Фотоэлектрические характеристики были измерены с помощью модифицированного спектрофотометра VSU 2-P, в котором в качестве источника излучения была примене-

Электрические и фотоэлектрические параметры контактов
4Ti-p-Si и 5Ti-p-Si с барьером Шоттки двух фотоэлементов

№ контакта	ВАХ контакта			Высота барьера				Освещение	
	I_{np} , мкА	$I_{обp}$, мкА	J_0 , А/см ²	Φ_{Bp} , В				75 Вт, L=5 см	
	V=0,6 В	V=0,6 В		ВАХ	С-V	ФЭ		V_{xx} , мВ	$I_{кз}$, мА
						Освещ. через Ti	Освещ. через Si		
14Ti-p-Si	8400	0,39	$7,9 \cdot 10^{-7}$	0,743	0,877	0,862		425	1,44
15Ti-p-Si	1688	0,62	$1,9 \cdot 10^{-6}$	0,72	0,844	0,861	0,861	436	1,78
24Ti-p-Si	6770	0,56	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0,72	0,87	0,861		428	3,02
25Ti-p-Si	1782	0,55	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,725	0,87	0,861	0,861	430	1,96

Примечание: Первая цифра (1 и 2) в номере контакта Ti-p-Si — номер образца p-Si. Вторая цифра (4 и 5) в номере контакта Ti-p-Si — номер контакта на образце p-Si (в соответствии с рис. 1).

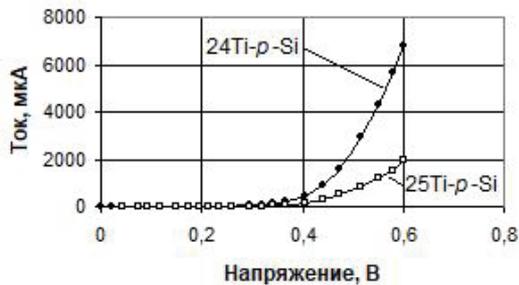


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики контактов 24Ti-p-Si и 25Ti-p-Si с барьером Шоттки при прямой полярности приложенного напряжения

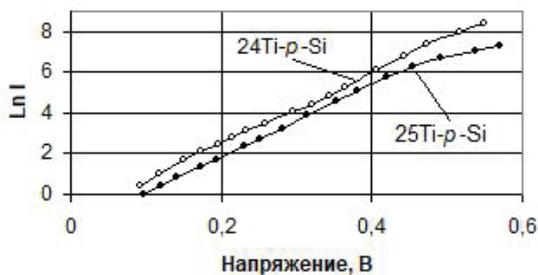


Рис. 3. Зависимости логарифма прямого тока ($\ln I_{np}$) от приложенного напряжения для контактов 24Ti-p-Si и 25Ti-p-Si с барьером Шоттки

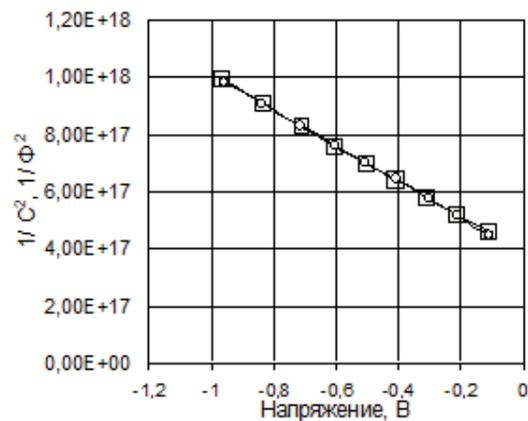


Рис. 4. С-V-характеристики контактов 24Ti-p-Si и 25Ti-p-Si с барьером Шоттки:
○ — 24Ti-p-Si, □ — 25Ti-p-Si

Кроме этого, были измерены фото-э.д.с. V_{xx} и ток короткого замыкания $I_{кз}$ каждого контакта с барьером Шоттки при освещении контакта интегральным светом вольфрамовой лампы накаливания (220 В, 75 Вт) с расстоянием 5 см от нити накала лампы до барьерного контакта, а также определена плотность тока насыщения J_0 на основе использования зависимости логарифма прямого тока ($\ln I_{np}$) от приложенного напряжения. Пересечение прямой $\ln I_{np}(V)$ с вертикальной осью (в результате линейной экстраполяции к $V=0$) определяет $\ln I_0$, и, следовательно, ток насыщения I_0 и плотность тока насыщения $J_0 = I_0/S$, где S — площадь контакта с барьером Шоттки. Результаты измерений указанных выше электрических и фотоэлектрических характеристик контактов с барьером Шоттки, входящих в структуру двухспектральных фотоэлементов, представлены в табл. 1 и на рис. 2–7.

Из представленных в табл. 1 и на рис. 2 электрических характеристик контактов с барьером Шоттки двух фотоэлементов следует, что контакты 15Ti-p-Si и 25Ti-p-Si имеют ВАХ, сдвинутые в сто-

на галогеновая лампа накаливания (МАЯК Н1, 12 В, 55 Вт) со стабилизированным источником питания ТЕС 5818. При измерении фотоэлектрических характеристик исследуемый фотоэлемент устанавливали в поток излучения в кюветной камере спектрофотометра, а спектр фото-э.д.с. и спектр тока короткого замыкания измеряли с помощью мультиметров М890С и МУ-60 соответственно. При измерениях этих спектров напряжение на галогеновой лампе поддерживали на неизменном уровне 9,02 В.

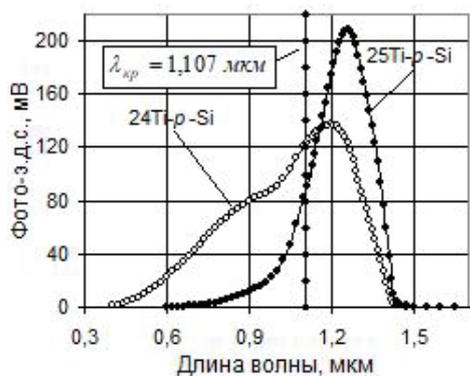


Рис. 5. Спектры фото-э.д.с. контактов 24Ti-*p*-Si и 25Ti-*p*-Si с барьером Шоттки

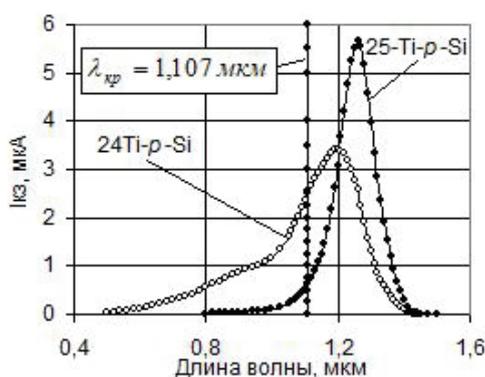


Рис. 6. Спектры тока короткого замыкания контактов 24Ti-*p*-Si и 25Ti-*p*-Si с барьером Шоттки

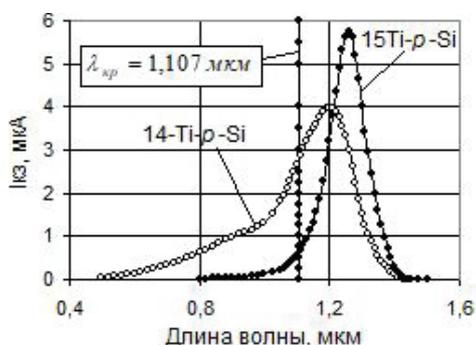


Рис. 7. Спектры тока короткого замыкания контактов 14Ti-*p*-Si и 15Ti-*p*-Si с барьером Шоттки

рону увеличенных значений приложенных прямых напряжений, и уменьшенные в (4–5) раз прямые токи I_{np} (при $V=0,6$ В), по сравнению с характеристиками контактов 14Ti-*p*-Si и 24Ti-*p*-Si, расположенных на полированной стороне образцов *p*-Si напротив омических контактов 2 фотоэлементов, что обусловлено падением напряжения вдоль образца на участке кремниевого образца между контактом с барьером Шоттки и омическим контактом 2. Разброс значений обратных токов $I_{об}$ контактов с барьером Шоттки (при $V=0,6$ В) обусловлен неизбежным наличием как краевых токов утечки барьерных контактов, так и токов утечки через дефекты прижимных внешних зондов к барьерным контактам.

С-V-характеристики контактов Ti-*p*-Si с барьером Шоттки исследованных фотоэлементов (на рис. 4 представлены практически совпадающие С-V-

характеристики двух контактов 24Ti-*p*-Si и 25Ti-*p*-Si одного из фотоэлементов) были измерены в интервале обратных напряжений V (0,1–0,95) В и являются *линейными* в координатах $1/C^2(V)$. Линейность этих характеристик позволила определить (в соответствии с работой [18]) точку их пересечения V_1 с осью напряжений V (в результате линейной экстраполяции к $1/C^2=0$), концентрацию акцепторов в кремниевых пластинах и положение уровня Ферми в запрещенной зоне *p*-Si, и высоту барьера Шоттки ϕ_{bp} контактов Ti-*p*-Si (табл. 1).

Если в исследованном двухспектральном фотоэлементе используется контакт Ti-*p*-Si (5) с барьером Шоттки, освещаемый через кремниевую пластину 1, то из представленных на рис. 5–7 спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента, использующего контакт (5), следует, что в этом случае он действует в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм с максимумом на длине волн 1,27 мкм, т.е. в ближней инфракрасной области спектра. Ограничение спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента в видимой области спектра (длина волны меньше 0,8 мкм) обусловлено тем, что излучение видимой области спектра сильно поглощается при распространении через кремниевую пластину 1, а фотоэлемент действует на основе внутренней фотоэмиссии носителей тока, которые возбуждаются в Ti пленке излучением с длинами волн выше длинноволновой границы кремния ($\lambda_{кр} = 1,107$ мкм) и переходят в кремний, когда их энергия превышает высоту барьера ϕ_{bp} контакта Ti-*p*-Si [19, 20].

Если в двухспектральном фотоэлементе используется второй контакт Ti-*p*-Si (4) с барьером Шоттки, освещаемый со стороны полупрозрачного слоя Ti, то из представленных на рис. 5–7 спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента, использующего контакт (4), следует, что в этом случае он действует в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм с максимумом на длине волн 1,2 мкм, т.е. в более широкой области спектра, которая включает в себя как большой участок спектра видимого излучения (0,5–0,8) мкм, так и ближнюю инфракрасную область спектра. Расширение спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента в видимую область спектра обусловлено тем, что при освещении фотоэлемента со стороны полупрозрачного слоя Ti (коэффициент пропускания которого равен 0,3) излучение видимой и инфракрасной областей спектра распространяется с частичным поглощением как в слое Ti, так и в кремниевой пластине 1. Поэтому фотоэлемент действует как на основе внутренней фотоэмиссии носителей тока из пленки Ti в кремний, так и на основе генерации электронно-дырочных пар в кремнии.

Кроме этого, из представленных на рис. 5–7 спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента видно, что при использовании контакта 5 (Ti-*p*-Si) с барьером Шоттки, освещаемого через кремниевую пластину 1, имеют место более высокие значения фото-э.д.с. и тока короткого замыкания на длинах волн максимума этих величин по сравнению со значениями этих величин в случае использования контакта 4 (Ti-*p*-Si) с барьером Шоттки, освещаемого со стороны полупрозрачного слоя Ti. Это обусловлено тем, что измерение спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания фотоэлемента, использующего контакт 4 (Ti-*p*-Si), было выполнено с применением зонда, подключаемого к полупрозрачной пленке Ti через тонкую на-

ску (с размерами $2 \times 2 \text{ мм}^2$) индия, которая затеняла часть фотоактивной площади контакта 4 (Ti-p-Si).

Заключение. Таким образом, в настоящей работе предложена структура и методика изготовления двухспектрального фотоэлемента, основанного на омическом силицидном контакте NiSi-p-Si и двух полупрозрачных контактах Ti-p-Si с барьером Шоттки. Контакты Ti-p-Si с барьером Шоттки расположены на одной полированной стороне Si пластины и могут освещаться с противоположных направлений. Контакт Ti-p-Si с барьером Шоттки, расположенный напротив омического контакта, освещается через полупрозрачный слой Ti, а второй контакт Ti-p-Si — в противоположном направлении через кремниевую пластину. Измерены ВАХ и C-V-характеристики, а также спектры фото-э.д.с. и тока короткого замыкания контактов с барьером Шоттки двух фотоэлементов, и определена высота барьера Шоттки $\phi_{\text{вр}}$ барьерных контактов методами ВАХ и C-V-характеристик, а также фотоэлектрическим методом на основе использования спектров тока короткого замыкания контактов с барьером Шоттки. Показано, что при использовании контактов Ti-p-Si, освещаемых через Si пластину, фотоэлементы действуют в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм с максимумом на длине волны 1,27 мкм. При использовании контактов Ti-p-Si, освещаемых со стороны полупрозрачного слоя Ti, фотоэлементы действуют в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм с максимумом на длине волны 1,2 мкм.

Применение в данной работе силицидного омического контакта NiSi-p-Si, защищенного пленкой Ag от воздействия молекул остаточных газов при высокотемпературном вжигании пленки никеля в p-кремний в вакууме при давлении остаточных газов — $(9-10) \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., позволило существенно улучшить стабильность внешнего электрического контакта к фотоэлементу во время измерения его параметров. Использование двух контактов Ti-p-Si с барьером Шоттки на одной плоскости фотоэлемента позволило упростить методику его изготовления и сократить время технологического процесса.

Библиографический список

- Kimata M., Denda M., Iwade S. [et al.]. A Wide Spectral Band Photodetector with PtSi/p-Si Schottky-barrier // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1985. Vol. 6, no. 10. P. 1031–1041. DOI: 10.1007/BF01010679.
- Chen C. K., Nechay B., Tsaur B.-Y. Ultraviolet, visible, and infrared response of PtSi Schottky-barrier detectors operated in the front-illuminated mode // IEEE Transactions on Electron Devices. 1991. Vol. 38, no. 5. P. 1094–1103. DOI: 10.1109/16.78384.
- Блесман А. И., Бурлаков Р. Б., Полонянкин Д. А. Электрические и фотоэлектрические свойства фотоэлемента, основанного на двух контактах Al-p-Si и Ti-p-Si с барьером Шоттки // Омский научный вестник. 2019. № 4 (166). С. 61–65. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-166-61-65.
- Блесман А. И., Бурлаков Р. Б. Способ изготовления фотоэлемента, основанного на двух контактах Al-p-Si и Ti-p-Si с барьером Шоттки // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 164–168. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-164-168.
- Şenarslan E., Betül Güzeldir B., Sağlam M. Investigation of the electrical characteristics of Al/p-Si/Al Schottky diode // Journal of Physics: Conference Series 7. 2016. Vol. 707, no. 1. 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/707/1/012013.
- Tataroglylu A., Altındal Ş. Analysis of interface states and series resistance of MIS Schottky diodes using the current–

voltage (I–V) characteristics // Microelectronic Engineering. 2008. Vol. 85, no. 1. P. 233–237. DOI: 10.1016/j.mee.2007.05.043.

- Cowley A. M. Titanium-Silicon Schottky barrier diodes // Solid-State Electronics. 1970. Vol. 12, no. 4. P. 403–414. DOI: 10.1016/0038-1101(70)90151-6.
- Hanselaer P. L., Laflire W. H., Van Meirhaeghe R. L. [et al.] The Influence of a HF and an Annealing Treatment on the Barrier Height of p- and n-Type Si MIS Structures // Applied Physics A. 1986. Vol. 39, no. 2. P. 129–133. DOI: 10.1007/BF00616830.
- Sahin B., Çetin H., Ayyıldız E. The effect of series resistance on capacitance–voltage characteristics of Schottky barrier diodes // Solid State Communications. 2005. Vol. 135, no. 8. P. 490–495. DOI: 10.1016/j.ssc.2005.05.050.
- Cetin H., Şahin B., Ayyıldız E. [et al.]. Ti/p-Si Schottky barrier diodes with interfacial layer prepared by thermal oxidation // Physica B. 2005. Vol. 364, no. 1-4. P. 133–141. DOI: 10.1016/j.physb.2005.04.001.
- Godfrey R. B., Green M. A. 655 mV open-circuit voltage, 17.6 % efficient silicon MIS solar cells // Applied Physics Letters. 1979. Vol. 34, no. 11. P. 790–793. DOI:10.1063/1.90646.
- Stavitski N., Van Dal M. J. H., Lauwers A. [et al.]. Systematic TLM Measurements of NiSi and PtSi Specific Contact Resistance to n- and p-Type Si in a Broad Doping Range // IEEE Electron Device Letters. 2008. Vol. 29, no. 4. P. 378–381. DOI: 10.1109/LED.2008.917934.
- Guo X., Yu H., Jiang Y.-L. [et al.]. Study of nickel silicide formation on Si (110) substrate // Applied Surface Science. 2011. Issue 24. P. 10571–10575. DOI: 10.1016/j.apsusc.2011.07.052.
- Kim B., Yoo D.-J., Baik H. K. [et al.]. Improved thermal stability of Ni silicide on Si (100) through reactive deposition of Ni // Journal of Vacuum Science & Technology B. 2003. Vol. 21 (1). P. 319–322. DOI: 10.1116/1.1539064.
- Tsuchiya Y., Tobioka A., Nakatsuka O. [et al.]. Electrical Properties and Solid-Phase Reactions in Ni/Si(100) Contacts // Japanese Journal of Applied Physics. 2002. Vol. 41, Part 1, no. 4B. P. 2450–2454. DOI: 10.1143/JJAP.41.2450.
- Пат. 188587 Российская Федерация, МПК С 23 С 14/24. Испаритель с изменяемой геометрией для вакуумного нанесения тонких пленок / Бурлаков Р. Б., Кузин А. Г. № 2018125350; заявл. 10.07.18; опубл. 17.04.19, Бюл. № 11.
- Бурлаков Р. Б. Измерение удельного сопротивления силицидных омических контактов к кремнию p-типа методом линии передачи // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 169–173. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-169-173.
- Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн. / пер. с англ. В. А. Гергея, Н. В. Зыкова, Б. И. Фукса [и др.]. 2-е перераб. и доп. изд. М.: Мир, 1984. Кн. 1. 456 с.
- Рогальский А. Инфракрасные детекторы / пер. с англ. под ред. А. В. Войцеховского. Новосибирск: Наука, 2003. 636 с.
- Dalal V. L. Analysis of Photoemissive Schottky Barrier Photodetectors // Journal of Applied Physics. 1971. Vol. 42, no. 6. P. 2280–2284. DOI: 10.1063/1.1660537.

БУРЛАКОВ Рудирий Борисович, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Прикладная и медицинская физика». AuthorID (РИНЦ): 37654
Адрес для переписки: BurlakovRB@omsu.ru

Для цитирования

Бурлаков Р. Б. Фотоэлемент, имеющий два контакта Ti-p-Si с барьером Шоттки и омический силицидный контакт NiSi-p-Si // Омский научный вестник. 2020. № 1 (169). С. 62–66. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-62-66.

Статья поступила в редакцию 06.12.2019 г.
© Р. Б. Бурлаков