

ЭЛЕМЕНТ ХОЛЛА, ИМЕЮЩИЙ ДВА КОНТАКТА Al-p-Si С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

Рассмотрены способ изготовления и результаты исследования электрических и фотоэлектрических свойств элемента Холла, имеющего два токовых контакта и два потенциальных холловских контакта на одной поверхности кремниевой пластины и два контакта Al-p-Si с барьером Шоттки на обратной поверхности пластины. Исследованный элемент Холла имеет простую технологию изготовления и обладает расширенными функциональными возможностями.

Ключевые слова: способ изготовления элемента Холла, кремний p-типа, контакты Al-p-Si с барьером Шоттки.

Введение. Известны устройства для контроля параметров полупроводниковых материалов различными методами, включая метод эффекта Холла, который получил широкое применение для контроля качества полупроводниковых материалов при измерениях концентрации носителей заряда [1–12]. Для измерения профиля легирования в поверхностном слое полупроводниковой пластины в структуру элемента Холла вводят контакт с барьером Шоттки [3, 8]. Наиболее близким по технической сущности к исследованному в настоящей работе полупроводниковому прибору является элемент Холла [12], содержащий полупроводниковый образец в виде пластины, на одной поверхности которой расположены два токовых контакта вдоль линии длины пластины с двух противоположных сторон и два потенциальных холловских контакта, расположенных между токовыми контактами на линии, которая перпендикулярна линии расположения токовых контактов с двух противоположных сторон, а на обратной поверхности пластины расположены два контакта с барьером Шоттки вдоль линии длины с двух противоположных сторон под токовыми контактами. Однако в работе [12] отсутствуют результаты экспериментальных исследований предложенного в ней элемента Холла, что является недостатком этой работы. Задачей настоящей работы является разработка структуры и способа изготовления элемента Холла, имеющего два контакта Al-p-Si с барьером Шоттки, и экспериментальное исследование электрических и фотоэлектрических свойств такого элемента Холла, обладающего расширенными функциональными возможностями.

Экспериментальные методики и результаты. Конструкция исследованного в настоящей работе элемента Холла поясняется чертежом на рис. 1, где показаны в увеличенном масштабе вид на элемент Холла со стороны холловских и омических токовых контактов и его сечение по плоскости А-А.

Элемент Холла содержит кремниевый образец 1 с размерами 8×12 мм² (где ширина образца $W = 8$ мм), на шлифованной поверхности которого (на концах образца 1) расположены омический токовый контакт 2 с размерами 3×8 мм² и омический

токовый контакт 3 с размерами 1×8 мм², а также потенциальные холловские контакты 4 и 5, расположенные между токовыми контактами 2 и 3 на противоположных сторонах образца 1 на его шлифованной плоскости на линии, которая перпендикулярна как направлению тока, так и направлению магнитного поля. Контакты 2, 3, 4 и 5 выполнены из пленки Al с толщиной 0,4 мкм, расстояние между токовыми контактами 2 и 3 равно 8 мм. Элемент Холла снабжен двумя контактами 6 и 7 с барьером Шоттки, расположенными на полированной плоскости образца 1, которая противоположна плоскости с двумя токовыми контактами 2 и 3. Контакты 6 и 7 выполнены из пленки Al с толщиной 0,24 мкм в виде дисков с диаметром 3 мм и расстоянием 8 мм между их центрами. Контакты 6 и 7 не касаются боковых и торцевых граней образца 1. Из рис. 1 видно, что при освещении элемента Холла со стороны контактов 2, 3, 4 и 5 освещаемая через кремниевый образец 1 область контакта 6 и неосвещаемая через кремний область контакта 7 имеют вид сегментов с высотой (0,5–1) мм. Направление излучения при освещении контактов 6 и 7 с барьером Шоттки со стороны барьерной пленки Al на рис. 1 не показано.

Для изготовления элемента Холла 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 разделена методом скрайбирования на кремниевые образцы с размерами 8×12 мм². Один из прямоугольных уголков (с длиной катета 0,5 мм) каждого кремниевого образца был срезан для визуальной фиксации его полированной стороны. Затем четыре образца очищались (от SiO₂) в растворе HF + H₂O (1:1) в течение 70–80 секунд с последующей промывкой в дистиллированной воде и ацетоне. После этого изготавливали два токовых контакта и два холловских контакта на неполированной плоскости каждого кремниевого образца, а затем два контакта с барьером Шоттки на полированной плоскости каждого образца путем локального термовакuumного нанесения тонких пленок Al

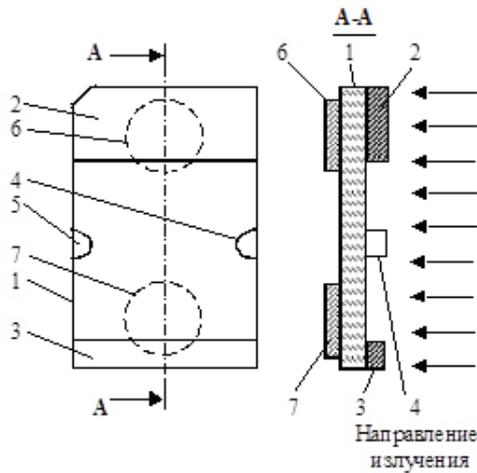


Рис. 1. Вид в увеличенном масштабе на элемент Холла со стороны холловских и омических токовых контактов и его сечение по плоскости А-А:

- 1 — образец кремния *p*-типа с размерами 8×12 мм²;
 2, 3, 4 и 5 — омические контакты Al-*p*-Si на шлифованной плоскости кремниевого образца: 2 — омический токовый контакт с размерами 3×8 мм², 3 — омический токовый контакт с размерами 1×8 мм², 4 и 5 — потенциальные холловские контакты; 6 и 7 — контакты Al-*p*-Si с барьером Шоттки на противоположной полированной стороне кремниевого образца

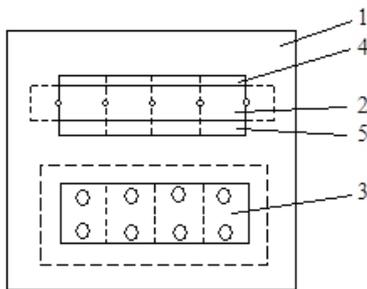


Рис. 2. Устройство для локального термовакuumного нанесения тонких пленок Al на кремневые образцы:

- 1 — пластина (с толщиной 1 мм) из нержавеющей стали;
 2 — металлическая маска с 5 отверстиями диаметром 1 мм;
 3 — металлическая маска с 8 отверстиями диаметром 3 мм;
 4 — прямоугольное окно с размерами 1×32 мм²;
 5 — прямоугольное окно с размерами 3×32 мм².

Пунктирными линиями в области каждого отверстия с размерами 12×32 мм² в пластине 1 показаны границы между кремниевыми образцами после их загрузки на маску. Элементы крепления масок 2 и 3 к пластине 1 (расположенные на ее обратной стороне) на рисунке не показаны

на образцы кремния *p*-типа. При этом использовали устройство (рис. 2), содержащее пластину 1 (толщиной 1 мм) из нержавеющей стали с двумя прямоугольными отверстиями (с размерами 12×32 мм²), в области которых расположены металлические маски 2 и 3 (с толщиной 0,2 мм).

Локальное нанесение тонкой пленки Al с толщиной 0,4 мкм выполняли путем осаждения испаренных в вакууме атомов Al через два прямоугольных окна 4 и 5 (с размерами: 1×32 мм² и 3×32 мм²) (рис. 2) на концевые участки четырех кремниевых образцов и через пять отверстий (диаметром 1 мм) в маске 2 на области потенциальных холловских контактов при температуре образцов 120 °С. Термовакuumное испарение алюминия выполняли при

давлении остаточных газов $(1,5-2) \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. из *W* испарителя [13] (четыре *W* проволоки длиной 65 мм и диаметром 0,8 мм, соединенные параллельно на концевых участках испарителя и расположенные в его центре на расстоянии 1 мм друг от друга). Осажденную пленку Al вжигали в кремниевые образцы в вакууме при давлении остаточных газов $(6-8) \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. и температуре 520 °С в течение 20 минут, что приводило к формированию омических токовых контактов 2 и 3, а также потенциальных холловских контактов 4 и 5 на образцах кремния *p*-типа (рис. 1).

Затем перегружали кремниевые образцы на маску 3 (рис. 2) и осаждали локально пленку Al толщиной 0,24 мкм через восемь отверстий (диаметром 3 мм) на концевые участки четырех кремниевых образцов на полированной плоскости, которая противоположна плоскости с двумя токовыми контактами 2 и 3. Локальное осаждение пленки Al выполняли в вакууме при давлении остаточных газов $(1,5-2) \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. и температуре кремниевых образцов 100 °С, и в результате этого формировали контакты с барьером Шоттки 6 и 7 на образцах кремния *p*-типа (рис. 1). Время изготовления элемента Холла, т.е. проведения двух операций термовакuumного напыления алюминия и его вжигания в *p*-кремний, составляло (2,5–3) часа.

В данной работе была измерена в двух элементах Холла (при $T=295$ К) концентрация носителей тока (дырок) в образцах кремния *p*-типа. Для измерения концентрации носителей тока (дырок) в образцах кремния *p*-типа элемент Холла устанавливали в зондовое устройство, предложенное в работе [14], и подключали его к электрической схеме, которая обеспечивала протекание и измерение регулируемого электрического тока через омические токовые контакты 2 и 3 элемента Холла, уменьшение напряжения асимметрии V_A на холловских контактах 4 и 5 с помощью внешнего регулируемого источника напряжения компенсации $V_{K'}$, включаемого последовательно с измерителем напряжения на контактах 4 и 5 [3, с. 140–142, рис. 5.2в], и измерение результирующего напряжения $V_{и}$ на холловских контактах 4 и 5. Затем, регулируя напряжения компенсации $V_{K'}$, получали минимальное значение напряжения асимметрии V_A на холловских контактах 4 и 5. После этого закрывали зондовое устройство алюминиевой крышкой, устанавливали его в магнитное поле электромагнита (магнитная индукция B которого была измерена с помощью измерителя магнитной индукции Ш1-8) и выполняли измерение результирующего напряжения $V_{и}$ на холловских контактах 4 и 5 ампервольтметром В7-22А. Расчет концентрации носителей тока (дырок) p в элементах Холла выполняли по формуле: $p = \frac{r}{q|V_x|} \frac{IB}{d}$, где V_x — холловская разность потенциалов, r — Холл-фактор, q — заряд электрона, p — концентрация дырок в кремнии *p*-типа, d — размер образца в направлении магнитного поля (толщина кремниевого образца), B — магнитная индукция, I — электрический ток, протекающий через токовые контакты 2 и 3 элемента Холла. В настоящей работе были использованы следующие значения величин в формуле для расчета концентрации p дырок: $r=3\pi/8=1,1781 \approx 1,18$; $d = 0,46$ мм; $I = 5$ мА; $B = 0,264$ Тл. Холловскую разность потенциалов V_x рассчитывали по формуле: $V_x = V_{и}/K$, где $V_{и}$ — разность потенциалов, измеряемая на холловских контактах 4 и 5 ($V_{и} < V_x$), K — поправочный коэффициент ($K < 1$), который

учитывает уменьшение измеряемой на холловских контактах 4 и 5 разности потенциалов V_{II} по сравнению со значением холловского напряжения V_X в результате шунтирующего действия токовых контактов 2 и 3 и барьерных контактов 6 и 7 на измеряемую разность потенциалов V_{II} [2, с. 70–74, рис. 2.7; 3 с. 167–168, рис. 7.6]. В данной работе использовали значение $K = 0,47$, которое соответствовало отношению (равному 0,625) расстояния (5 мм) между барьерными контактами 6 и 7 к ширине ($W = 8$ мм) кремниевого образца.

Электрические характеристики контактов 6 и 7 с барьером Шоттки: темновые статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) измеряли с помощью мультиметров М890С и МУ-60, а С-V-характеристики — с использованием высокочастотного измерителя Е7-9, в котором измерение емкости производится на рабочих частот (700–300) кГц. На основе использования зависимости логарифма прямого тока ($\ln I_{np}$) контакта с барьером Шоттки от приложенного напряжения определена плотность тока насыщения J_0 контакта. Пересечение прямой $\ln I_{np}(V)$ с вертикальной осью (в результа-

те 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. Измерены фотоэлектрические характеристики контактов с барьером Шоттки: спектр фото-э.д.с. в фотовольтаическом режиме (режим холостого хода) и спектр тока короткого замыкания в фотовольтаическом режиме. Фотоэлектрические характеристики были измерены с помощью модифицированного спектрофотометра VSU 2-P, в котором в качестве источника излучения была применена галогеновая лампа накаливания (МАЯК Н1, 12 В, 55 Вт) со стабилизированным источником питания ТЕС 5818. При измерении фотоэлектрических характеристик исследуемый элемент Холла 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 10,6 В. Кроме этого, были измерены фото-э.д.с. V_{xx} и ток короткого замыкания $I_{кс}$ каждого контакта

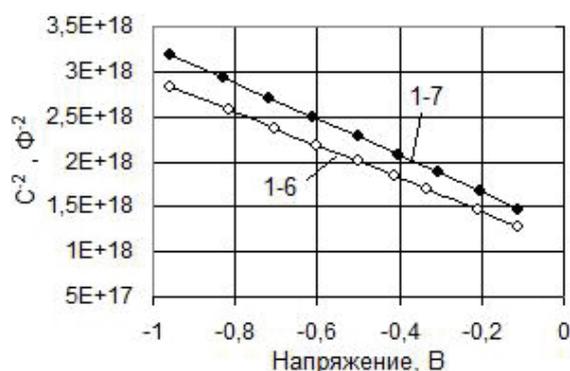


Рис. 3. С-V-характеристики контактов № 1-6 и № 1-7 с барьером Шоттки в элементе Холла № 1

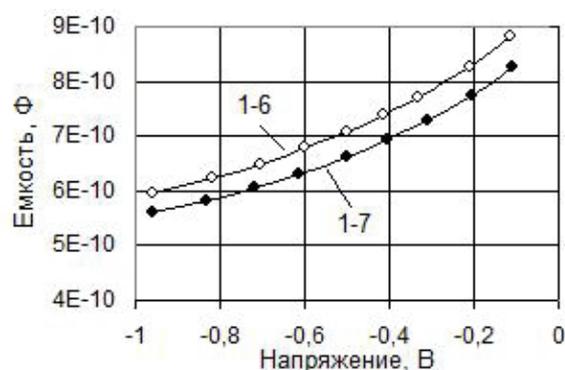


Рис. 4. Зависимости барьерной емкости C от обратного напряжения V контактов № 1-6 и № 1-7 с барьером Шоттки в элементе Холла № 1

Таблица 1

Электрические и фотоэлектрические параметры контактов Al-p-Si с барьером Шоттки двух элементов Холла

№ барьер-кон-та	Концентрация дырок в p-Si, см^{-3}		ВАХ контакта		Высота барьера, $\Phi_{\text{ВР}}, \text{В}$		Освещение 75 Вт, $L=5\text{см}$			
	Холл метод	С-V Метод	$I_{np}, \text{мкА}$	$J_0, \text{А/см}^2$	ВАХ метод	С-V метод	ФЭ метод		со стороны барьерного Al	
							Освещение		$V_{xx}, \text{мВ}$	$I_{кс}, \text{мА}$
		0,6 В				Al	Si			
1-6	$1,31 \times 10^{15}$	$1,31 \times 10^{15}$	6658	$5,3 \times 10^{-7}$	0,753	0,853	0,861	0,861	440	0,4
1-7		$1,17 \times 10^{15}$	3946	$4,2 \times 10^{-6}$	0,699	0,875		0,861	435	0,65
2-6	$1,36 \times 10^{15}$	$1,28 \times 10^{15}$	6226	$1,2 \times 10^{-8}$	0,85	0,837	0,857	0,861	469	0,51
2-7		$1,16 \times 10^{15}$	3455	$1,7 \times 10^{-5}$	0,664	0,858		0,861	410	0,56

Примечание: Первая цифра (1 и 2) в номере контакта Al-p-Si — номер элемента Холла. Вторая цифра (6 и 7) в номере контакта Al-p-Si — номер контакта в элементе Холла в соответствии с рис. 1. Прямой ток I_{np} контактов приведен для одинаковых (по абсолютному значению $V=0,6$ В) прямых напряжений.

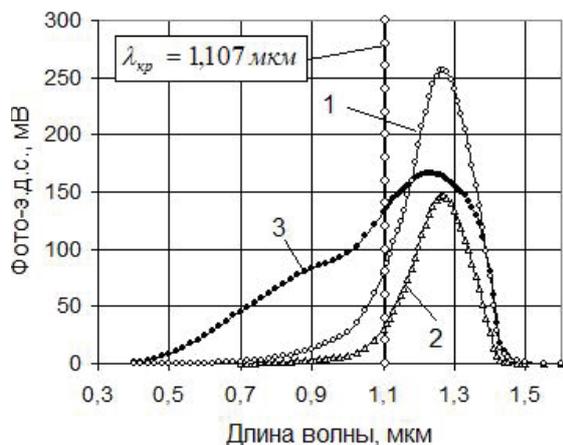


Рис. 5. Спектры фото-э.д.с. контактов Al-*p*-Si с барьером Шоттки в элементе Холла № 1:
1 — № 1-7 (освещение через Si);
2 — № 1-6 (освещение через Si);
3 — № 1-6 (освещение со стороны барьерной пленки Al)

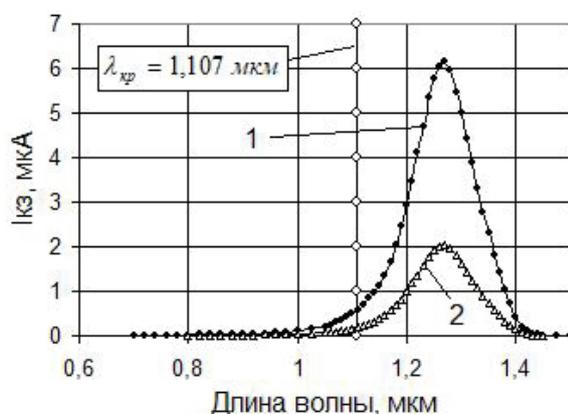


Рис. 6. Спектры тока короткого замыкания контактов Al-*p*-Si с барьером Шоттки в элементе Холла №1:
1 — № 1-7 (освещение через Si);
2 — № 1-6 (освещение через Si)

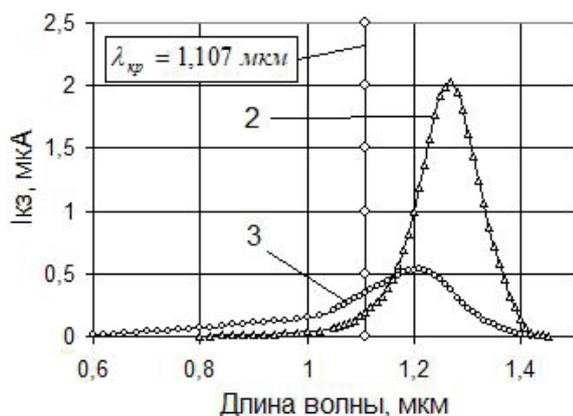


Рис. 7. Спектры тока короткого замыкания контактов Al-*p*-Si с барьером Шоттки в элементе Холла № 1:
2 — № 1-6 (освещение через Si);
3 — № 1-6 (освещение со стороны барьерной пленки Al)

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.

На основе использования указанных выше характеристик определена высота барьера Шоттки ϕ_{bp} контактов методами ВАХ и С-V-характеристик, а также фотоэлектрическим методом путем применения спектров тока короткого замыкания контактов с барьером Шоттки [15]. Результаты измерений указанных выше электрических и фотоэлектрических характеристик элементов Холла представлены в табл. 1 и на рис. 3–7.

Из табл. 1 видно, что концентрация носителей тока (дырок) в образцах кремния *p*-типа, измеренная холловским методом с помощью элементов Холла № 1 и № 2, равна соответственно $1,31 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $1,36 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Если использовать значение подвижности дырок — $480 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ в кремнии *p*-типа с концентрацией дырок 10^{15} см^{-3} из работы [16] и паспортный параметр пластины кремния *p*-типа (из которой были изготовлены в данной работе элементы Холла № 1 и № 2) значение удельного сопротивления — $10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, то расчет дает для этой пластины следующее значение концентрации дырок — $1,302 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

С-V-характеристики контактов Al-*p*-Si с барьером Шоттки в двух элементах Холла (на рис. 3 представлены С-V-характеристики контактов № 1-6 и № 1-7 в элементе Холла №1) были измерены в интервале обратных напряжений V (0,1–0,96) В и являются *линейными* в координатах $1/C^2(V)$. Линейность этих характеристик позволила определить (в соответствии с работой [15]) 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 (табл. 1). Из данных табл. 1 следует, что определенная С-V-методом концентрация акцепторов N_A в материале элементов Холла равна $1,31 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $1,17 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при использовании соответственно контактов № 1-6 и № 1-7 в элементе Холла № 1. В случае применения контактов № 2-6 и № 2-7 концентрация акцепторов в элементе Холла № 2 равна соответственно $1,28 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и $1,16 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Следовательно, использование в С-V-методе контактов № 1-7 и № 2-7 приводит к более сильному отклонению полученных С-V-методом значений концентрации акцепторов от значений концентрации дырок p , полученных в настоящей работе холловским методом. Этот факт обусловлен тем, что наклон $[\Delta(C^{-2})/\Delta V]$ С-V-характеристик контактов № 1-7 и № 2-7 больше наклона С-V-характеристик контактов № 1-6 и № 2-6 (например, на рис. 3, наклон С-V-характеристики контакта № 1-7 равен $2,034 \cdot 10^{18} \text{ Ф}^{-2} \text{ В}^{-1}$, а наклон С-V-характеристики контакта № 1-6 равен $1,818 \cdot 10^{18} \text{ Ф}^{-2} \text{ В}^{-1}$). Поэтому расчет концентрации акцепторов по формуле, которая приведена в работах [4, с. 83; 6, с. 87; 7, с. 20]: $N_A = 2 / \{ S^2 q \epsilon \epsilon_0 [\Delta(C^{-2})/\Delta V] \}$, где S — площадь контакта с барьером Шоттки, q — заряд электрона, ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость кремния, ϵ_0 — электрическая постоянная, C — барьерная емкость контакта 6 (или 7), V — обратное напряжение, приводит к уменьшенным значениям концентрации акцепторов N_A . При этом (на графиках зависимости C^{-2} от V) С-V-характеристики контактов № 1-7 и № 2-7 расположены *выше* С-V-характеристик контактов № 1-6 и № 2-6 (рис. 3), что обусловлено уменьшенными значениями барьерной емкости C контактов № 1-7 и № 2-7 на графиках зависимости емкости C контакта от обратного напряжения V (рис. 4).

Это различие характеристик контакта № 1-7 (или № 2-7) и контакта № 1-6 (или № 2-6), по-видимому, обусловлено различием в геометрии омических токовых контактов 3 и 2 элементов Холла (см. рис. 1). Вследствие изложенного выше нецелесообразно применять контакты № 1-7 и № 2-7 исследованных элементов Холла (с показанной на рис. 1 структурой) для измерения С-V-методом концентрации акцепторов N_A в кремнии. Однако контакты № 1-7 и № 2-7 имеют увеличенную освещаемую через кремниевый образец 1 область контакта и могут использоваться для измерения спектров тока короткого замыкания в ближней инфракрасной области спектра и определения высоты барьера Шоттки ϕ_{bp} наиболее точным фотоэлектрическим методом [15, с. 300–302].

На рис. 5 представлены спектры фото-э.д.с. в фотовольтаическом режиме двух контактов с барьером Шоттки: № 1-7 и № 1-6 в элементе Холла № 1 для случаев освещения контакта № 1-7 только через кремниевую пластину (спектр 1), а контакта № 1-6 через кремниевую пластину (спектр 2) и со стороны барьерной пленки Al (спектр 3). На рис. 6 и 7 представлены спектры тока короткого замыкания контактов № 1-7 и № 1-6 для аналогичных условий освещения барьерных контактов. Из представленных на рис. 5–7 спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания контактов № 1-7 и № 1-6 следует, что при освещении контактов № 1-7 и № 1-6 через кремниевую пластину они действуют в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм с максимумом на длине волны 1,27 мкм, т.е. в ближней инфракрасной области спектра.

Ограничение спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания контактов в видимой области спектра (длина волны меньше 0,8 мкм) обусловлено тем, что излучение видимой области спектра сильно поглощается при распространении через кремниевую пластину, а контакты действуют на основе внутренней фотоэмиссии носителей тока, которые возбуждаются в Al 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 Al-p-Si [17].

Если контакт № 1-6 освещается со стороны барьерной пленки Al, то из спектров фото-э.д.с. и тока короткого замыкания, представленных на рис. 5 и 7, следует, что в этом случае контакт действует в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм с максимумом на длине волны 1,2 мкм, т.е. в более широкой области спектра, которая включает в себя как 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 в видимую область спектра обусловлено тем, что при освещении контакта со стороны непрозрачной барьерной пленки Al (с толщиной 240 нм) излучение видимой и инфракрасной областей спектра воздействует как на внешнюю кольцевую зону области пространственного заряда непрозрачного контакта Al-p-Si, так и на области кремния под непрозрачным контактом Al-p-Si в результате отражений излучения от границ раздела воздух-кремний и кремний-металл при перпендикулярном падении излучения на контакт. Поэтому в этом случае контакт действует как на основе внутренней фотоэмиссии носителей тока из пленки Al в кремний, так и на основе генерации электронно-дырочных пар в кремнии.

Из спектров тока короткого замыкания контактов Al-p-Si, показанных на рис. 6 и 7, также видно, что при освещении контактов Al-p-Si с барьером Шоттки через кремниевую пластину имеют место более высокие значения максимума тока короткого замыкания по сравнению со значением этой величины в случае освещения контакта Al-p-Si со стороны непрозрачной пленки Al. Этот факт связан с малыми значениями тока короткого замыкания (максимальные значения которого находятся в интервале (0,5–0,6) мкА), когда контакт Al-p-Si освещается со стороны барьерной пленки Al (рис. 7), так как в данной работе эта пленка Al имеет толщину 240 нм и поэтому непрозрачна в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм.

Следует отметить, что использование в исследованном элементе Холла контактов 6 и 7 с барьером Шоттки, выполненных из полупрозрачной пленки Ti с толщиной 8–10 нм на основе применения предложенной в работе [18] методики изготовления контактов Ti-p-Si, позволит каждому контакту Ti-p-Si (согласно данным работы [18]) выполнять функцию двухспектрального фотоэлемента: в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм при освещении контакта Ti-p-Si через Si пластину, или в диапазоне длин волн (0,5–1,4) мкм, когда полупрозрачный контакт Ti-p-Si освещается со стороны барьерной пленки Ti.

Заключение. Таким образом, при использовании предложенного элемента Холла, имеющего два контакта Al-p-Si с барьером Шоттки, можно измерять на одном и том же образце величину концентрации носителей тока (дырок) p при известном значении величины магнитной индукции B и, наоборот, выполнять измерение величины B , если для того же используемого элемента Холла известно значение величины p , предварительно измеренное на этом же образце вольт-фарадным методом. Наличие в элементе Холла контакта с барьером Шоттки позволяет выполнять оценку неоднородности распределения концентрации акцепторов в поверхностном слое используемого полупроводникового материала, а также измерять профиль легирования в тонком поверхностном слое этого материала. Кроме этих основных функций, исследованный элемент Холла позволяет измерять фотоэлектрические характеристики контактов с барьером Шоттки: спектр фото-э.д.с. в фотовольтаическом режиме и спектр тока короткого замыкания в фотовольтаическом режиме и определять на основе спектра тока короткого замыкания высоту барьера Шоттки ϕ_{bp} наиболее точным фотоэлектрическим методом. Показано, что при освещении контакта Al-p-Si через Si пластину исследованный элемент Холла выполняет функцию фотоэлемента в диапазоне длин волн (0,9–1,4) мкм с максимумом на длине волны 1,27 мкм. Использование предложенной методики изготовления элемента Холла обеспечивает время его изготовления в интервале (2,5–3) часов.

Библиографический список

1. Ковтонок Н. Ф., Концевой Ю. А. Измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Металлургия, 1970. 432 с.
2. Кучис Е. В. Методы исследования эффекта Холла. М.: Советское радио, 1974. 328 с.
3. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. М.: Советское радио, 1990. 264 с.
4. Батавин В. В., Концевой Ю. А., Федоровичи Ю. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.

5. Павлов Л. П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1987. 239 с.
6. Пилипенко В. А., Пономарь В. Н., Горушко В. А. [и др.]. Физические измерения в микроэлектронике. Мн.: Научно-методический центр Электронная книга БГУ, 2003. 171 с. ISBN 985-445-950-0.
7. Портной Г. Современные магниточувствительные датчики Холла и приборы на их основе // Вестник автоматизации. 2013. № 1 (39). С. 7–12.
8. Look D. C. Schottky-barrier profiling techniques in semiconductors: Gate current and parasitic resistance effects // J. Appl. Phys. 1985. Vol. 57, no. 2. P. 377–383. DOI: 10.1063/1.334762.
9. Basiago R. [et al.] Hall plate. US patent 3046458; filed April 23rd, 1959; published July 24 th, 1962.
10. Kataoka S., Sugiyama Y., Fujisada H. Highly sensitive Hall element. US patent 4204132; filed Aug. 8 th, 1977; published May 20 th, 1980.
11. Morikawa J. [et al.] Hall element. US patent 4223292; filed Jul. 24th, 1978; published Sep. 16th, 1980.
12. Пат. 162967 U1 Российская Федерация, МПК Н 01 L 43/04. Элемент Холла / Бурлаков Р. Б., Савенко О. М. № 2016104014/28; заявл. 08.02.16; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19.
13. Пат. 188587 U1 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.
14. Блесман А. И., Бурлаков Р. Б. Зондовое устройство для электрических измерений параметров тонких легированных пленок ZnO // Омский научный вестник. 2020. № 1 (169). С. 67–72. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-169-67-72.
15. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн.: пер. с англ. 2-е перераб. и доп. изд. М.: Мир, 1984. Кн. 1. 456 с.
16. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 630 с.
17. Рогальский А. Инфракрасные детекторы / пер. с англ. под ред. А. В. Войцеховского. Новосибирск: Наука, 2003. 636 с.
18. 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.

БУРЛАКОВ Руднарий Борисович, кандидат физико-математических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Общая, прикладная и медицинская физика».

AuthorID (РИНЦ): 37654

Адрес для переписки: BurlakovRB@omsu.ru

Для цитирования

Бурлаков Р. Б. Элемент Холла, имеющий два контакта Al-p-Si с барьером Шоттки // Омский научный вестник. 2020. № 4 (172). С. 60–65. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-172-60-65.

Статья поступила в редакцию 12.05.2020 г.

© Р. Б. Бурлаков