



ОСОБЕННОСТИ И РЕЖИМ РАБОТЫ ШОТТКИ–МАТРИЦ НА ОСНОВЕ КОНТАКТА IRSI–SI

Э.А. Керимов

Национальное Аэрокосмическое Агентство Азербайджана,
ул. С.С. Ахундова, 1, кор. 2, 8-й мк-рн, квар. 3123, Баку, AZ 1115, Азербайджан

Аннотация. Выявлено что, при использовании в качестве считывающей системы ПЗС-регистров, в состав многоэлементного приёмника должны входить электроды передачи зарядов и сигнальные области, электроды считывающих затворов и т.д. по этой причине, относительная доля фоточувствительной площади в многоэлементных Шоттки-матрицах (иногда её называют коэффициентом заполнения) мала.

Ключевые слова: длина волны, диод, многоэлементная Шоттки-матрица, полупроводник, туннелирование, носители.

Параметры приемников работающих в ИК–области на основе многоэлементных Шоттки–диодов зависят не только от характеристик чувствительного элемента, но и от рабочего режима матриц. Обеспечить повышение квантовой эффективности диодов Шоттки в рабочем диапазоне длин волн можно путем увеличения длинноволновой границы фоточувствительности, которая в свою очередь определяется высотой барьера Шоттки (БШ):

$$\lambda = \frac{1.24}{\Phi_0},$$

где, $\Phi = h\nu$. Здесь Φ — высота БШ, как описывалось [1], зависит от работы выхода металла и электронного сродства полупроводника, и для Шоттки-диодов с барьером IrSi, составляет 0,173 эВ, что соответствует длинноволновой границе фоточувствительности 7,18 эВ. Для уменьшения эффективности высоты барьера Шоттки, было предложено делать его более тонким (в направлении, перпендикулярном поверхности перехода), тем самым, создавая условия для туннелирования через него фотовозбужденных носителей [2]. Облегчению туннелирования фотоносителей способствует дополнительное легирование кремния тонким слоем ионов вблизи границы раздела металл-полупроводник. Легирующей слой должен иметь тот же тип проводимости, что и материал подложки, а доза легирующих ионов, должна обеспечивать заметное понижение высоты барьера. Например, легирование таллием позволило понизить высоту барьера PtSi с 0,267 до 223 эВ и соответственно, сдвинуть длинноволновую границу фоточувствительности с 4,6 до 5,5 мкм. Увеличение длинноволновой границы всего на 20%, как утверждается, привело к росту квантовой эффективности диода в 5,6÷9,1 раза в диапазоне 3,4÷4,2 мкм.

Значительно увеличить квантовую эффективность Шоттки-приемников возможно также в результате изготовления фоточувствительного элемента в виде «оптической полости» (рис. 1).

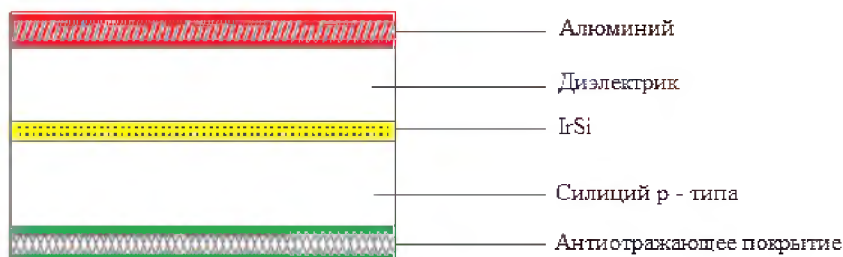


Рис. 1. Структура фоточувствительного слоя Шоттки-диода в виде «оптической полости».

Первые фотодиоды Шоттки из PtSi, Pd₂Si имеет довольно толстый слой металла (около 600Å) и сравнительно низкую квантовую эффективность. Создание же Шоттки приемника в виде «оптической полости» с тонким слоем силицида, приводит к росту коэффициента квантовой фотоэмиссии S , благодаря увеличению оптического поглощения за счет многократного отражения лучей в «полости», образованной алюминиевым зеркальным и просветляющим слоями и эффективности внутренней фотоэмиссии горячих дырок из тонкого слоя иридия силицида в кремниевую подложку, за счет их многократного отражения на границах раздела силицид – диэлектрик и силицид – полупроводник. Чтобы произошла эмиссия горячей дырки (электрона) в полупроводник, импульс фотовозбужденного носителя в направлении нормали к границе раздела силицид-кремний, должен соответствовать кинетической энергии, которая больше высоты барьера Шоттки $\Phi_0\Phi$. В результате отражения горячей дырки от поверхности раздела, изменяется угол между направлением движения фотоносителя и нормалью к границе раздела силицид-кремний. Так как, момент в направлении нормали пропорционален косинусу этого угла, то при многократных отражениях, увеличивается вероятность внутренней фотоэмиссии и, за счет этого, растет коэффициент усиления G , равный отношению вероятностей эмиссии в тонком и толстом слоях силицида:

$$G = \frac{P_m(h\nu)}{P(h\nu)}. \quad (1)$$

Из общих физических соображений ясно, что коэффициент G тем выше, чем больше число возможных отражений горячей дырки от поверхности силицид-диэлектрик или силицид-кремний. Если предположить, что при каждом переотражении энергия горячей дырки сохраняется, угол отражения некоррегирован с углом падения, а рассеяние энергии дырки при столкновениях с фононами и отражениях на границах пленки силицида можно описать средней длиной рассеяния энергии горячим носителем L (в направлении, перпендикулярном поверхности слоя), то число возможных переотражений n зависит от энергии горячей дырки, толщины слоя силицида t и величины L :

$$\Phi_0 = E \exp\left(-\frac{2nt}{L}\right). \quad (2)$$

Из уравнения видно, что коэффициент усиления фотоэмиссии G должен увеличиваться с ростом отношения L/t , причем эта зависимость должна быть различной для разных энергии фотонов $E = h\nu$. Максимальная величина G соответствует случаю, когда все горячие



фотоносители эмитируются в кремниевую подложку, т.е. $P_m(h\nu) = 1$. Таким образом:

$$G_{\max} = \frac{1}{P(h\nu)}. \tag{3}$$

Степень поглощения излучения в «оптической полости» фоточувствительной структуры Шоттки-диода зависит от толщины слоя силицида, а также от толщины и материала диэлектрика. Это означает что, подобрав (например, путем расчета по формулам Френеля) оптимальную толщину и материал слоя диэлектрика можно значительно (в несколько раз) увеличить поглощение излучения в слое силицида и тем самым, увеличить квантовый выход фотоэмиссии Шоттки диодов.

Фоточувствительный элемент на барьере Шоттки в виде «оптической полости» образуется путем нанесения пленки металла, например, иридия, толщиной около 60 нм через окна в пленке окисла на поверхность кремния р-типа, легированного бором до $10 \div 80$ Ом·см. Формирование Шоттки-диода между кремнием и силицидом металла осуществляется после нанесения контактов ПЗС (приборы с зарядовой связью) — считывающего регистра с последующей термообработкой при температуре $300-8000^\circ\text{C}$. Затем удаляют оставшийся слой иридия с таким расчетом, чтобы толщина слоя силицида составляла $2 \div 10$ нм, наносят слой диэлектрика, а поверх него, алюминий. На обратную строку подложки, осаждают просветляющий слой для уменьшения коэффициента отражения поверхности, на которую падает регистрируемое излучение. Величина темпового тока зависит от длительности термообработки, которой подвергается диод в процессе изготовления. При ее увеличении, темновой ток уменьшается, однако, одновременно падают квантовая эффективность и чувствительность диода. Как показывают экспериментальные данные, оптимальное соотношение квантовой эффективности и плотности темнового тока достигается при времени термообработки, равном 8-и часам.

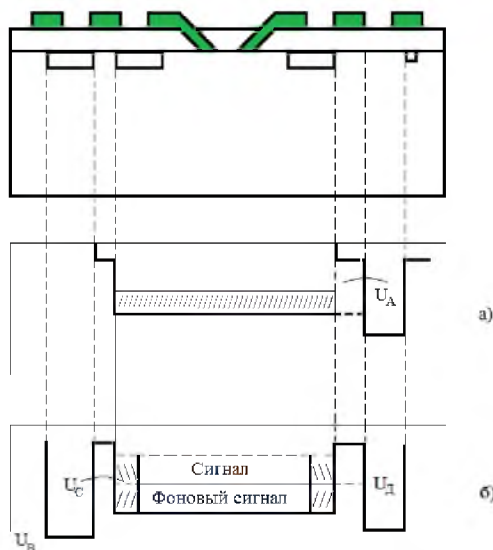


Рис. 2. Схема, поясняющая работу Шоттки-фотодиода в режиме без вычитания фонового (а) и с вычитанием фонового (б) сигнала.

По принятой схеме деления, фотоприемные матрицы из Шоттки-диодов относятся к монокристаллическим структурам. В таких приемниках преобразование оптического излучения электри-



ческий сигнал и его первичная обработка происходят в одном и том же полупроводниковом материале: в кремнии. Для осуществления первичной обработки фотосигнала Шоттки-приемников, состоящем в поэлементном считывании и выводе сигнала на общий выход, используются ПЗС-регистры с поверхностным или скрытым каналом. Такая структура может работать в двух режимах: вычитанием и без вычитания фонового сигнала. В режиме, при котором фоновый сигнал не вычитается, каналы сброса не используются, в работе устройства они не участвуют. Когда к электроду первой фазы сдвигового регистра приложен высокий потенциал и под ним образована потенциальная яма, на затвор считывания подается положительный потенциал, создающие под электродом затвора и на плавающей диффузионной области канала считывания потенциал U_A (см. рис. 2.)

Заряд, накопившийся к этому моменту в области Шоттки-барьера, переходит в более глубокую потенциальную яму под электродом первой фазы считывающего регистра. После прекращения считывающего импульса на затворе считывания этот заряд, представляющий собой сигнальный пакет, передается обычным путем на выходное устройство сдвигового регистра, для формирования видеосигнала. После считывания специального заряда, металлический электрод Шоттки-диода устанавливается иод плавающим потенциалом U_A и на нем происходит накопление сигнального заряда, который будет считан аналогичным способом в следующем кадре. При таком методе считывания, в потенциальную яму сдвигового регистра передается весь заряд, накопленный фоточувствительным элементом как за счет оптического возбуждения излучением от регистрирующего объекта, так и за счет возбуждения фоновым излучением (и тепловой генерации).

В режиме с вычитанием фонового сигнала, в качестве сигнального заряда используется разностный сигнал между накопленным ячейкой зарядом и зарядом, обусловленным облучением средним потоком фонового излучения. Этот заряд, одинаковый для всех фоточувствительных ячеек матрицы, не содержит полезной информации о наблюдаемом объекте и поэтому может не участвовать в формировании видеосигнала. Такое вычитание постоянного фонового сигнала осуществляется с помощью канала сброса.

К шине сброса сигнала прикладывается высокой положительный потенциал, образующий под шиной сброса потенциальную яму, глубиной U_D (см. рис. 2б). В конце каждого кадра, к затвору сброса прикладывается импульс сброса U_C , устанавливающий потенциалы диффузионных областей каналов сброса и считывания, а также фоточувствительной области Шоттки-барьера, равный U_C . При этом весь заряд, накопленный фоточувствительной областью, переносится в потенциальную яму под шиной сброса и удаляется. Фотодиод Шоттки заряжается до плавающего потенциала U_C и тем самым, подготавливается для накопления заряда в течение следующего кадра. В конце времени интегрирования сигнала, перед подачей импульса сброса на затвор считывания, подается импульс, устанавливающий поверхностный потенциал под затвором, равный U_D . Заряд, который накоплен в потенциальной яме под Шоттки-барьером, выше этого уровня и перетекает в потенциальную яму под электродом сдвигового регистра. Выбором величины потенциала U_D можно обеспечить такие условия, чтобы в считывающий регистр для образования видеосигнала передавался только тот заряд, который несёт информацию об изменении регистрируемого излучения по отношению к среднему уровню фонового потока. Оставшийся постоянный фоновый заряд удаляется после прекращения передачи импульса считывания, путем открывания затвора сброса, как было описано выше. Таким образом, удаётся, во первых, значительно повысить контрастность изображения и, во вторых, более полно использовать ограниченную по величине емкость фаз сдвигового регистра, для обеспечения большего динамического диапазона приёмного устройства.



Как отмечалось, основным преимуществом матриц на Шоттки-диодах, по сравнению с другими многоэлементными матрицами, является высокая равномерность чувствительности приёмных элементов в матрице. Однако, это характерно лишь для этапа преобразования оптического излучения в электрический заряд непосредственно в фоточувствительном элементе. Итоговая же равномерность чувствительности матрицы зависит ещё и от равномерности процесса считывания сигналов отдельных элементов. С этой точки зрения, предпочтительнее режим считывания без вычитания фонового сигнала. Неравномерность сигнала может быть вызвана неоднородностью плёнки окисла по толщине и плотности заряда в окисле, а также неоднородностью концентрации легирующей примеси в полупроводнике, что приводит к разбросу величин емкости отдельных элементов и поверхностного потенциала под затворами. В режиме без вычитания фона, выставление исходного значения плавающего потенциала чувствительного элемента и считывание потенциала после накопления сигнального заряда, происходит с помощью одного и того же затвора. Очевидно, что в этом случае возможное отличие в величинах устанавливаемого плавающего потенциала между разными ячейками не приводит к разбросу по уровню считываемого сигнала, так как он определяется лишь разностью потенциалов до и после накопления заряда. В режиме же с вычитанием фона, исходное значение плавающего потенциала в каждой из ячеек устанавливается с помощью затвора сброса, а потенциал считывания, с помощью затвора сброса, а потенциал считывания, с помощью затвора считывания. В этом случае, разброс по уровню устанавливаемого потенциала любым из затворов, приводит к различию в снимаемом сигнале и тем самым, к неравномерности элементов матрицы по чувствительности. По этому, с точки зрения обеспечения наибольшей равномерности чувствительности, режим без вычитания фонового сигнала, предпочтительнее.

Литература

1. Родерик Э.Х. Контакты металл-полупроводник / Пер.с англ. (Под ред. Г.В. Степанова) / М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
2. Гершанский А.Е, Ржанов А.В, Черепов Е.И. Тонкопленочные силициды в микроэлектронике // Микроэлектроника. – 1982. – 11;2. – С.83.

FEATURES AND OPERATION OF THE SCHOTTKY–MATRIX ON THE BASIS OF CONTACTS IRSI–SI

Elchin Akhmed-ogly Kerimov

National Aerospace Agency of Azerbaijan,
S.S. Akhundov St., 1/2, 8th dist., qu. 3123, Baku, AZ 1115, Azerbaijan

Abstract. It is found that, in the multielement detector, some electrodes of charge transfer and signal areas, reading gate electrodes, etc. would be included when it is used as a readout system – CCD registers. For this reason, the relative share of photosensitive area of the Schottky-multielement arrays (sometimes it is called the fill factor) is small.

Key words: wave length, diod, Schottky-multielement array, semiconductor, tunneling, carries, detector.