

**Е.Ф. Венгер, И. Готовы*,
Л.В. Шеховцов**

ЛАТЕРАЛЬНАЯ ФОТОЭДС В КОНТАКТЕ ШОТТКИ

В образцах контакта Шоттки NbN—GaAs обнаружена и исследована фотоЭДС, которая генерируется вдоль границы раздела металл—полупроводник. Характер распределения ЭДС вдоль образца гетеросистемы указывает на преимущественно барьерный механизм ее генерации. Сложная знакопеременная форма спектральных характеристик фотоЭДС связана с вкладом в измеряемый сигнал нескольких составляющих ЭДС, которые генерируются на потенциальных барьерах гетеросистемы металл—полупроводник. Наблюдается изменение формы спектральных характеристик и знака фотоЭДС при освещении образца со стороны металла. Это обусловлено изменением соотношения между составляющими ЭДС, которые генерируются в слоях гетеросистемы с разным уровнем проводимости. Показано, что на вид спектральных зависимостей существенно влияет переходной полупроводниковый слой, который формируется у границы раздела контакта Шоттки.

Ключевые слова: латеральная фотоЭДС, контакт Шоттки, спектральная характеристика.

ВВЕДЕНИЕ

Важной проблемой физики контактов в полупроводниках является выяснение свойств потенциальных барьеров, в частности степени их планарной однородности. Формирование контакта металл—полупроводник сопровождается появлением как потенциального барьера, так и переходного слоя в полупроводниковом кристалле, который может влиять на стабильность работы структуры в реальных условиях эксплуатации. Следовательно, подбор металлов с высокой термостойкостью обусловлен необходимостью получения стабильной границы раздела гетеросистемы, которая в реальных полупроводниковых приборах (например, диодах Шоттки) в процессе эксплуатации подвергается многократным термическим разогревам. Нитриды переходных металлов (Nb, Ti) являются в этом отношении перспективными материалами [1]. Металлоподобные пленки NbN имеют низкое удельное сопротивление ($\sim 150\text{—}170$ мкОм·см), кроме того, сами могут служить антидиффузионными барьерами при формировании контактов других металлов с полупроводником. Особенность использования этих материалов заключается в возможности совмещения процессов формирования в интегральных схемах сильнолегированных областей и изолированных зазоров [2].

Контакт металл—полупроводник по своей природе является «многослойной» структурой. Здесь можно выделить слой области пространственного заряда (ОПЗ) $L_{\text{ОПЗ}}$ на свободной поверхности полупроводника, равновесную область V , область истощения (ОИ) $L_{\text{ОИ}}$ на границе раздела металл—полупроводник. Также можно ожидать формирования переходного полупроводникового слоя возле этой границы. Естественно, формируется переходной слой в самой металлической пленке [2, 3].

Такая слоистость может быть сама по себе интерпретирована как «неоднородность» гетеросистемы металл—полупроводник. Кроме этого, существует неоднородность изгиба зон как вдоль границы раздела металл—полупроводник [4, 5], так и свободной поверхности GaAs [6], а также неоднородность легирования объема полупроводника.

© Е.Ф. Венгер, И. Готовы, Л.В. Шеховцов, 2010

Влияние указанных неоднородностей на работоспособность реальной приборной структуры зачастую оказывается решающим и связано это с неустойчивым распределением тока по сечению перехода металл—полупроводник [7].

Для исследования границ раздела переходных слоев в гетеросистемах металл—полупроводник, фазового состава и структуры межфазных границ задействован большой методический арсенал, в частности оже-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, спектроскопия глубоких энергетических уровней вблизи границ раздела. Подробно изучалась связь между структурой межфазной границы NbN—GaAs и концентрацией электрически активных дефектов в переходной области [8, 9], влияние температуры отжига на структуру NbN и ширину переходной области контакта Шоттки NbN—GaAs [1, 3, 10, 11].

Для фотоэлектрических методов исследований, результаты которых приведены ниже, особый интерес представляет неоднородный переходной слой, который может появляться в области истощения при формировании гетеросистемы металл—полупроводник. Его свойства зависят от технологических условий изготовления такого рода объектов и кардинальным образом влияют на электрофизические параметры приборных структур, например таких, как контакт Шоттки.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗЦОВ

В данной работе используется фотоэлектрическая методика, основанная на измерении спектральных характеристик фотоЭДС в полупроводниковых гетеросистемах, которая генерируется в направлении, параллельном границе раздела между «слоями» изучаемой структуры. Эта методика успешно применялась для исследования контакта Шоттки TiB₂—GaAs, Au—TiB₂—GaAs [12] и гетероструктуры Ge—GaAs [13]. Важной особенностью используемой методики является измерение спектральных характеристик стационарной фотоЭДС в условиях равенства падающих на исследуемый образец количества квантов возбуждающего света.

Экспериментальная установка также позволяет исследовать распределение фотоЭДС вдоль образца с помощью движущегося светового зонда шириной $d_1 = 0,3$ мм. Скорость движения зонда равна $0,025$ мм/с. Спектральные характеристики измерялись при ширине светового зонда $d_2 = 2$ мм.

Методические аспекты технологии приготовления модельных образцов контакта Шоттки NbN—GaAs описаны ранее [10]. Толщина пленки NbN составляет 100 — 150 нм, концентрация примесей в подложке n -GaAs $n_0 = 5 \cdot 10^{16}$ см⁻³, толщина подложки — 200 мкм, длина и ширина образцов — 10 — 12 мм. Контакты, изготовленные с помощью эвтектики InGa, и прилегающие к ним области образцов прикрывались непрозрачными полосками бумаги во избежание генерации паразитной вентиляющей фотоЭДС. Таким образом, длина освещаемой открытой части структуры — $d = 5$ мм. Измерения проводились на частоте модулированного света 540 Гц при комнатной температуре.

В работе представлены результаты исследований образцов гетеросистемы NbN—GaAs с концентрацией азота в пленке NbN равной 20 %, отожженных при $T = 850$ °С. Эти данные являются также типичными для структур с концентрацией азота 2 , 5 и 15 %, отожженных при той же температуре.

Как уже указывалось, нитрид ниобия NbN является металлоподобным соединением, так называемой фазой (или сплавом) внедрения, достаточно широко исследующимся [14]. Далее при изложении результатов измерений NbN для краткости называется металлом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Если исследуемые структуры можно представить в виде «слоистой» системы, в которую входят: приповерхностная ОПЗ толщиной $L_{\text{ОПЗ}}$, нейтральный объем V , область истощения у контакта полупроводник—металл $L_{\text{Ои}}$

(рис. 1), то соответственно можно ожидать генерации ЭДС на потенциальных барьерах, существующих в слое $L_{\text{ОПЗ}}$ и $L_{\text{ОИ}}$. Нельзя исключать и возможную генерацию объемной ЭДС в равновесном объеме полупроводника V , хотя ввиду малости диффузионной длины неравновесных носителей в GaAs ($\sim 1\text{--}3$ мкм) [15] ее амплитуда и, соответственно, вклад в суммарный сигнал незначительны. На рис. 1 проиллюстрировано, прежде всего, наличие в структуре слоев с разной проводимостью, и не отражено реальное распределение потенциала в ОПЗ и ОИ и соотношения между их толщиной.

При концентрации примеси $n_0 = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ толщина области обеднения контакта Шоттки $L_{\text{ОИ}} \approx 0,2$ мкм (с учетом соотношения между работой выхода электрона из металла и полупроводника) [16].

Для того чтобы уяснить механизмы генерации фотоЭДС, в исследуемой гетеросистеме исследовано распределение ЭДС вдоль образца. На рис. 2 представлены зависимости амплитуды фотоЭДС, измеренные при движении светового зонда в направлении от одного контакта к другому. Длина волны возбуждающего света составляла $\lambda = 0,6$ мкм (кривая 1), $\lambda = 1,0$ мкм (кривая 2) при освещении со стороны GaAs и $\lambda = 0,6$ мкм (кривая 3) и со стороны NbN. Интенсивность света равна 8×10^{14} квант/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$). Ясно, что условие слабого возбуждения $\Delta n \ll n_0 = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при этом соблюдается.

Как известно, распределение латеральной фотоЭДС вдоль образца имеет линейный характер $V = qIR_V d_1/d$ (q — заряд электрона, I — интенсивность света, падающего на образец; R_V — сопротивление нейтрального объема образца; d_1 — ширина светового зонда; d — длина освещаемой части образца [17, 18]).

Для наглядности на рис. 2 проведены прямые линии аппроксимации. Амплитуды кривых 2 и 3 увеличены в 5 раз. Видно, что характер распределения ЭДС близок к линейному с выраженными флуктуациями. Они могут быть связаны как с неоднородностью потенциальных барьеров, вдоль которых движется световой зонд, так и с возможным вкладом объемно-градиентной ЭДС, которая возникает вследствие неоднородности распределения легирующей примеси в GaAs.

Рис. 1. Геометрия возбуждения фотоЭДС в образцах и модель зонной диаграммы контакта Шоттки; A_1, A_2 — точки освещения образца со стороны GaAs и NbN при измерениях спектральных характеристик; C_1 и C_2 — затемненные контакты к образцу; $L_{\text{ОПЗ}}$ — область пространственного заряда; V — нейтральный объем; $L_{\text{ОИ}}$ — область истощения; E — ширина запрещенной зоны GaAs; 1, 2, 3 — границы раздела в гетеросистеме и потоки неравновесных носителей заряда

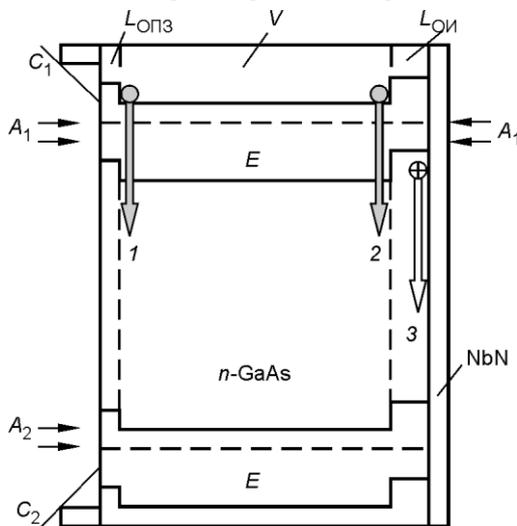


Рис. 2. Распределение фотоЭДС вдоль образца, измеренное при длине волны возбуждающего света, λ , мкм: 1 — 0,6; 2 — 1,0 мкм, освещение со стороны GaAs; 3 — 0,6 мкм, освещение со стороны NbN. A_1 , A_2 — положение светового зонда на образце при измерении спектральных характеристик

Для того чтобы в экспериментах характер ЭДС был преимущественно латеральным, спектральные характеристики исследовались в условиях, когда световой зонд располагался на краю освещаемой области образца (см. рис. 1, точки A_1 и A_2). Кроме того, в этих условиях латеральная ЭДС имеет амплитуду, близкую к максимальной (см. рис. 2).

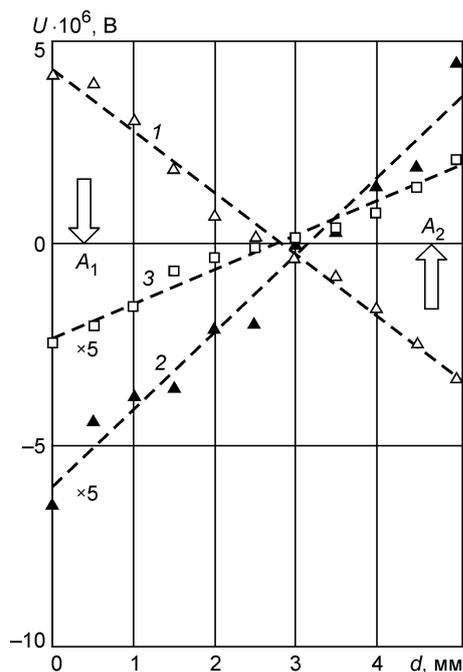
При регистрации латеральной ЭДС необходимо, чтобы измерительные контакты были нанесены на образец со стороны слоя с меньшей проводимостью. В данном случае контакты наносились на свободную поверхность GaAs, у которой существует истожающий изгиб зон, и это условие соблюдалось.

На рис. 3 представлены спектральные характеристики ЭДС, которая генерируется в образце при освещении со стороны GaAs. Измерения выполнены при различной интенсивности возбуждающего света: 1×10^{14} квант/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) — кривая 1, $2 \cdot 10^{14}$ квант/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) — кривая 2 и 8×10^{14} квант/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$) — кривая 3.

Видно, что все кривые знакопеременны, причем отрицательный максимум в длинноволновой части спектральной характеристики находится за краем поглощения GaAs. Аналогичные измерения спектральных характеристик в точке A_2 (рис. 1) на противоположном краю образца показывают инверсию знака фотоЭДС, т. е. спектральная характеристика зеркально отражается относительно оси абсцисс. Этого и следовало ожидать, исходя из характера распределения латеральной фотоЭДС (см. рис. 2).

Спектральные кривые 1—3 (рис. 4), измеренные при освещении образца со стороны пленки NbN, имеют область насыщения и их амплитуда плавно уменьшается на краю поглощения GaAs. При этом знак сигнала ЭДС противоположный к знаку сигнала, полученного при освещении со стороны GaAs, что также следует из характера распределения латеральной фотоЭДС (см. рис. 2, кривая 3).

На рис. 3 и 4 спектральные характеристики фотоЭДС приведены в диапазоне длины волны света от $\lambda = 0,84$ мкм ($h\nu = 1,47$ эВ) до $\lambda = 0,94$ мкм ($h\nu = 1,315$ эВ). При длине волны, меньшей 0,84 мкм, коэффициент поглощения в GaAs составляет более 10^4 см^{-1} [19], т. е. свет в этой области спектра поглощается в основном вблизи освещаемой поверхности образца на глубине 1 мкм и менее. Таким образом, можно считать, что условия генерации, рекомбинации и пространственного разделения электронно-дырочных пар на потенциальном барьере приповерхностного изгиба зон в этом спектральном диапазоне существенно не изменяются. На опыте это отражается в том, что амплитуда кривых (см. рис. 3



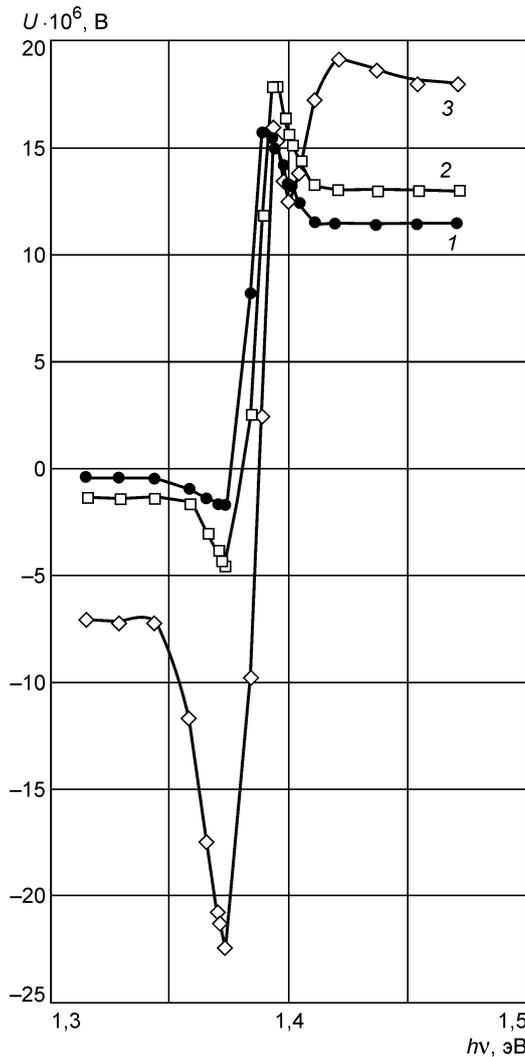


Рис. 3. Спектральные характеристики фотоЭДС, измеренные при различной интенсивности возбуждающего света; освещение со стороны GaAs в точке A_1 , квант/(см² · с): 1 — $1 \cdot 10^{14}$; 2 — $2 \cdot 10^{14}$; 3 — $8 \cdot 10^{14}$

и 4) мало изменяется в спектральном диапазоне от $\lambda = 0,6$ мкм ($h\nu = 2,06$ эВ) до $\lambda = 0,84$ мкм ($h\nu = 1,47$ эВ). В области длины волны $0,94$ — $1,0$ мкм (соответственно, для энергии квантов света это диапазон составляет $1,315$ — $1,24$ эВ) амплитуда ЭДС плавно уменьшается до нуля.

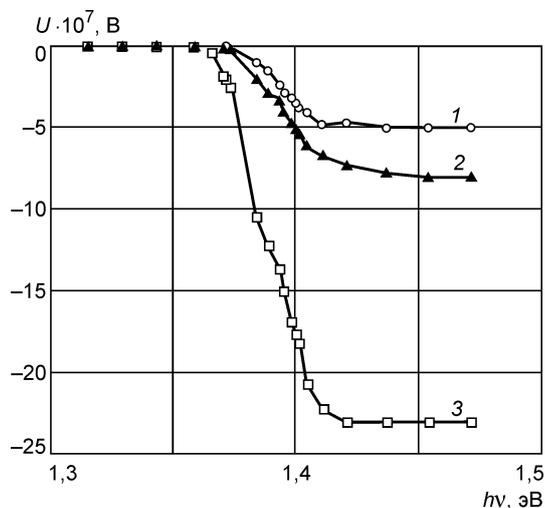
Аргументами в пользу того, что измеряемая ЭДС генерируется вследствие пространственного разделения неравновесных носителей заряда на потенциальных барьерах изгибов зон, являются следующие особенности ее распределения и спектральных характеристик.

Во-первых, само геометрическое направление формирования ЭДС, параллельное освещаемой поверхности, вдоль границ между указанными выше «слоями». Качественный вид кривых 1—3 (см. рис. 2), которые хорошо аппроксимируются прямой линией, соответствует распределению латеральной

ЭДС [17], механизм генерации которой связан с пространственным разделением неравновесных носителей заряда потенциальным барьером, существующим на границе полупроводниковых слоев с разным уровнем проводимости (см. рис. 1).

Во-вторых, типичное для латеральной ЭДС изменение знака сигнала, когда световой зонд находится примерно на одном расстоянии от обоих контактов (см. рис. 2). Распределение фотоЭДС, которое отображают кривые 1 и 3,

Рис. 4. Зависимость амплитуды спектральной характеристики фотоЭДС от интенсивности возбуждающего света при освещении со стороны NbN в точке A_1 , квант/(см² · с): 1 — $1 \cdot 10^{14}$; 2 — $2 \cdot 10^{14}$; 3 — $8 \cdot 10^{14}$ получено при длине волны возбуждающего света $\lambda = 0,6$ мкм. Распределение, которому соответствует кривая 2, измерено при длине волны $\lambda = 1,0$ мкм, т. е.



энергия квантов света при этом была меньше ширины запрещенной зоны GaAs.

Характерно, что наблюдается нелинейная зависимость амплитуды фотоЭДС от интенсивности возбуждающего света. Увеличение этой интенсивности в четыре раза (от $2 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{14}$ квант/(см²·с)) приводит к непропорциональному увеличению амплитуды сигнала в 1,5—2,5 раза (в зависимости от длины волны возбуждающего света). Это указывает на преимущественно барьерный механизм генерации измеряемой ЭДС. Как видно из рис. 2 (точка A_1) и рис. 3, распределение ЭДС и спектральные характеристики при соответствующей длине волны изменяют свой знак.

Исходя из изложенных результатов, можно дать интерпретацию механизма формирования фотоЭДС следующим образом.

При освещении образца со стороны GaAs в случае, когда свет поглощается на небольшой глубине полупроводника, часть неравновесных носителей разделяются на барьере $L_{\text{ОПЗ}}$, прилегающему к квазинейтральному слою V . Контакт слоев $L_{\text{ОПЗ}}-V$ можно представить как контакт ($n^- - n$) [17]. При этом дырки остаются в области пространственного заряда, электроны переходят в область V и, растекаясь вдоль барьера, инжектируются в область $L_{\text{ОПЗ}}$. На рис. 2 такое растекание обозначено затененными стрелками. В результате в стационарных условиях возбуждения вдоль условной границы $L_{\text{ОПЗ}}-V$ возникает распределение потенциала, разность которого в области контактов C_1 и C_2 определяется экспериментально (у контакта C_2 минус, если образец освещается вблизи C_1).

Очевидно, что растекание неравновесных электронов после генерации электронно-дырочных пар и их пространственного разделения на потенциальном барьере ОПЗ происходит от места генерации во всех направлениях нейтральной области полупроводника, вдоль которых существует градиент неравновесных носителей заряда. При освещении образца со стороны GaAs неравновесные электроны могут достигать барьера у ОИ. Но если коэффициент поглощения света в GaAs больше чем 10^2 см^{-1} , а толщина подложки GaAs составляет 200 мкм, то вблизи ОИ отсутствуют генерация и рекомбинация электронно-дырочных пар, необходимые для того, чтобы возникла стационарная латеральная фотоЭДС. Поэтому при анализе спектральных характеристик основное внимание уделяется растеканию электронов только вдоль того барьера, на котором происходит пространственное разделение неравновесных электронно-дырочных пар и, соответственно, генерация латеральной ЭДС.

Увеличение глубины поглощения света приводит к тому, что неравновесные электронно-дырочные пары, генерируясь теперь и вблизи условной границы $V-L_{\text{ОИ}}$ (контакт $n-n^-$), также разделяются на потенциальном барьере слоя $L_{\text{ОИ}}$. Дырки оказываются в области истощения у границы с металлом, а электроны — в квазиравновесной области V . Знаки разности потенциала, возникающего вдоль этого барьера и барьера $L_{\text{ОПЗ}}$, будут совпадать. По сути, три области структуры с потенциальными барьерами $L_{\text{ОПЗ}}-V-L_{\text{ОИ}}$ составляют в полупроводнике структуру $n^- - n - n^-$.

Однако для носителей заряда, пространственно разделяющихся на барьере области истощения $L_{\text{ОИ}}$ контакта Шоттки, возможен конкурирующий канал растекания неравновесных носителей заряда.

Известно, что у границы раздела металл—полупроводник существует слой, уровень проводимости которого, кроме всего прочего, зависит от температуры отжига образцов [20, 21]. Если у этой границы проводимость переходного полупроводникового слоя выше, чем квазинейтральной области, то дырки, двигаясь в этом слое, могут инжектироваться из области истощения контакта Шоттки в нейтральную область. На рис. 1 движение дырок у границы 3 обозначено светлой стрелкой. Соответственно, также появится распределение потенциала вдоль условной границы между этими «слоями». Однако теперь вблизи контакта C_2 возникает избыток дырок и, соответственно, измеряемая на контактах фотоЭДС, изменяет свой знак на противоположный (см. рис. 3).

При энергии квантов, близкой к ширине запрещенной зоны GaAs, свет практически равномерно поглощается по толщине образца. Следовательно, амплитуда суммарной ЭДС будет определяться не только интенсивностью поглощаемого света, но и соотношением между проводимостью области пространственного заряда, нейтральной области, области истощения и переходного полупроводникового слоя.

Как видно из рис. 2 (кривая 2) и рис. 3, фотоЭДС также генерируется при энергии квантов возбуждающего света, меньших ширины запрещенной зоны GaAs. Это подтверждает то, что на границе раздела полупроводника и металла существует переходной полупроводниковый слой, генерация в котором электронно-дырочных пар приводит к тому, что спектральная характеристика фотоЭДС регистрируется за краем поглощения GaAs. Кроме того, длинный «хвост» фотоЭДС в этой спектральной области указывает на то, что на границе раздела металл—полупроводник существует большая плотность поверхностных электронных состояний [8].

Для исследуемой гетеросистемы возможен механизм фотоэмиссии электронов из металла в полупроводник. В диапазоне энергии квантов, которые использовались в анализируемых экспериментах, этот эффект хотя и незначителен, но может привести к тому, что в металлической пленке возникнет положительный заряд. Это эквивалентно прикладыванию положительного потенциала к контакту Шоттки, которым является исследуемый образ, что вызовет уменьшение истощающего изгиба зон у контакта металл—полупроводник и, соответственно, уменьшение амплитуды фотоЭДС.

При освещении образца со стороны NbN ситуация с генерацией латеральной ЭДС изменяется.

Наличие проводящего полупроводникового слоя вблизи границы 3 (см. рис. 1) обуславливает существование конкурирующих механизмов инжекции неравновесных электронов из нейтральной области в область истощения, а также инжекции неравновесных дырок из области истощения в нейтральную область.

В этих условиях латеральная фотоЭДС должна изменять знак в зависимости от коэффициента поглощения света в GaAs, как и в случае освещения образца со стороны GaAs. Однако спектральные характеристики, измеренные при освещении образца со стороны NbN, не изменяют свой знак (см. рис. 4). Прежде всего очевидно, что большая часть падающего на образец света отражается и поглощается в пленке NbN, вследствие чего амплитуда фотоЭДС значительно уменьшается [22]. При наличии сильного рекомбинационного потока на границе раздела металл—полупроводник концентрация электронно-дырочных пар, которые пространственно разделяются на барьере ОИ, очень мала. Следовательно, количество дырок, которые могут инжектироваться в нейтральную область также мало по сравнению с концентрацией неравновесных электронов, которые инжектируются из этой области в ОИ и определяют тем самым знак суммарной латеральной фотоЭДС.

Таким образом, изменение соотношения между проводимостью полупроводникового переходного слоя, который формируется у границы раздела контакта Шоттки в области истощения и нейтральной областью, приводит к перераспределению вкладов в суммарный сигнал латеральных фототоков, протекающих в структуре, что отражается на особенностях спектральных характеристик фотоЭДС.

Исследования образцов контакта Шоттки NbN—GaAs, отожженных при $T = 900$ и 950 °С, позволяют получать более полную картину формирования контакта металл—полупроводник. Такие измерения будут проведены в дальнейшем.

ВЫВОДЫ

Изложенные результаты позволяют сделать следующие выводы.

В образцах контакта Шоттки NbN—GaAs наблюдается генерация фотоЭДС в направлении, параллельном границе раздела металл—полупроводник. Ее меха-

низм обусловлен пространственным разделением неравновесных электронно-дырочных пар на потенциальных барьерах и протеканием фототоков в области пространственного заряда, области истощения, нейтральной области и в переходном полупроводниковом слое.

Сложная форма спектральных характеристик фотоЭДС связана с тем, что измеряемый сигнал представляет собой алгебраическую сумму фототоков, протекающих в гетеросистеме вдоль условных границ раздела между слоями с разным уровнем проводимости.

Полученные результаты указывают на наличие переходного слоя вблизи границы раздела полупроводник—металл, проводимость которого может изменяться, что отражается на форме спектральных характеристик ЭДС.

Корреляция между видом спектральных характеристик и проводимостью переходного слоя позволяет сделать вывод о полупроводниковой природе указанного слоя на границе раздела гетеросистемы NbN—GaAs.

E.F. Venger, I. Hotovy, L.V. Shekhovtsov

LATERAL PHOTO-EMF IN SCHOTTKY CONTACT

A photo-emf in the NbN—GaAs Schottky contact samples has been found and studied. This photo-emf is generated along the metal—semiconductor interface. The character of its distribution along the length of heterosystem sample indicates predominantly barrier mechanism of its generation. A complicated alternating form of spectral characteristics of the photo-emf is related to contributions to the measured signal from several components that are generated at potential barriers of the metal—semiconductor heterosystem. Illumination of samples on the metal side results in change of the form of spectral characteristics and reversal of a sign of photo-emf. This is caused by variation of interrelation between the photo-emf components that are generated in the heterosystem layers with different conductivities. It is shown that a semiconductor junction layer formed near the Schottky contact interface has a pronounced effect on the form of spectral characteristics.

Keywords: lateral photo-emf, Schottky contact, spectral characteristic.

1. Контакт Шоттки NbN/GaAs и глубокие уровни в приграничном слое GaAs / И.А. Ахинько, В.Н. Инкин, Е.П. Карамышев и др. // Электрон. техника. Микроэлектроника. — 1990. — Вып. 5(139). — С. 42—45.
2. Свойства барьеров Шоттки Nb/n-GaAs и NbN/n-GaAs / И.А. Ахинько, Е.Я. Гольдберг, А.Т. Григорьев и др. // Там же. — 1990. — Вып. 1(135). — С. 35—37.
3. Связь электронных свойств границы раздела фаз с межфазным взаимодействием в гетероструктурах NbN—GaAs / А.А. Беляев, И. Готовы, Е.Ф. Венгер и др. // ЖТФ. — 1998. — **68**, № 1. — С. 63—66.
4. Palm H., Arhes M., Schulz M. Fluctuations of the Au—Si (100) Schottky Barrier Height // Phys. Rev. Lett. — 1993. — **71**, N 14. — P. 2224—2227.
5. Естественные неоднородности высоты барьера Шоттки / В.Б. Бондаренко, Ю.А. Кудинов, С.Г. Ершов и др. // ФТП. — 1998. — **32**, № 5. — С. 554—556.
6. Kim C., King P.L., Pianetta P. Fermi-level inhomogeneities on the GaAs (110) surface imaged with a photoelectron microscope // J. Vac. Technol. B. — 1992. — **10**, N 4. — P. 1944—1948.
7. Влияние мощных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные схемы / В.В. Антипин, В.А. Годовицын, Д.В. Громов и др. // Зарубежная радиоэлектроника. — 1995. — № 1. — С. 37—53.
8. Структура и свойства межфазных границ арсенид галлия — металл (диэлектрик) / Н.К. Максимова, В.М. Калыгина, В.П. Воронков и др. // Изв. вузов. Физика. — 1993. — № 10. — С. 52—62.
9. Инкин В.Н., Курпиленко Г.Г., Портнов С.М. Особенности структуры межфазной границы NbN—GaAs // Электрон. техника. Микроэлектроника. — № 4(143). — С. 32—35.
10. Hotovy I., Brcka J., Huran J. Investigation of reactively sputtered NbN films // Fizika A. — 1995. — **4**, N 2. — P. 337—342.
11. Schottky and Ohmic Au contacts on GaAs: Microscopic and electrical investigation / Z.Liliental-Weber, R.Gronsky, J.Washburn et al. // J. Vac. Technol. B. — 1986. — **4**, N 4. — P. 912—918.
12. Шеховцов Л.В., Саченко А.В., Шварц Ю.М. Поперечная фотоэдс в гетерозепитаксиальной структуре // ФТП. — 1995. — **29**, № 3. — С. 566—573.
13. Переходной слой в контактах Шоттки TiB₂—GaAs Au—TiB₂—GaAs / Е.Ф. Венгер, Р.В. Конакова, О.Б. Охрименко и др. // Там же. — 2001. — **35**, № 4. — С. 439—444.

14. Андреевский Р.А. Синтез и свойства пленок фаз внедрения // Успехи химии. — 1997. — **66**, № 1. — С. 57—76.
15. Карпович И.А., Стетихова М.В. Влияние гетероэпитаксиальной пассивации поверхности на спектры fotocувствительности и рекомбинационные параметры слоев GaAs // ФТП. — 1998. — **32**, № 2. — С. 182—186.
16. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. Кн. 1 // М.: Мир, 1984. — 456 с.
17. Wallmark J.T. A new semiconductor Photocell using lateral photoeffect // Proc.IRE. — 1957. — **45**, N 4. — P. 474—483.
18. Овсяк В.Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. — Новосибирск: Наука, 1984. — 254 с.
19. Sturge M.O. Optical absorption of gallium arsenide between 0,6 and 2,74 eV // Phys.Rev. — 1962. — **12**, N 3. — P. 768—773.
20. Гольдберг Ю.А., Поссе Е.А. Образование омического контакта в процессе непрерывного нагревания диодов Шоттки на основе GaAs и GaP // ФТП. — 1998. — **2**, № 2. — С. 200—202.
21. Бедный Б.И. О трансформации потенциального барьера на границе GaAs/Au при термообработке // Там же. — 1999. — **33**, № 11. — С. 1350—1354.
22. Optical constants of reactively-sputtered NbN films / M.W. Konevecki, K.L. Westra, B.T. Sullivan et al. // Thin Solid Films. — 1993. — **232**, N 2. — P. 228—231.

Институт физики полупроводников
им. В.Е. Лашкарева
НАН Украины
Проспект Науки, 41
03028 Киев

Принято 16.02.2010

*Словацкий технический университет
Братислава, Словакия