

УДК 621.315.592

## СОВМЕСТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВАХ И ПРОДОЛЬНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ $p^+$ - $p$ СТРУКТУРАХ ИЗ InSb

Ш.О. ЭМИНОВ, А.А. РАДЖАБЛИ, Т.И. ИБРАГИМОВ, А.А. ДАДАШЕВ

*Институт Физики НАН Азербайджана,  
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

Полевые зависимости собственной и примесной продольной фотопроводимости (ФП)  $p^+$ - $p$  – структур из InSb, выращенных методом ЖФЭ измерены одновременно с ВАХ этих структур при 77К. Совместное изучение ВАХ и ФП структур облегчает интерпретацию полевых зависимостей ФП. Показано, что ФП сильно зависит от уровня инжекции электронов в  $p$ -область, так что максимум ФП при обратном включении структур почти на порядок выше ФП при прямом включении как в собственной, так и в примесной областях спектра.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование полевой зависимости фоточувствительности в собственной и в примесной областях спектра проводилось, в основном, на поперечных фотосопротивлениях InSb. Аналогичные исследования на продольных фотосопротивлениях InSb к настоящему времени почти не проводились. Однако, в этих зависимостях можно ожидать целый ряд особенностей, отличных от поперечных фотосопротивлений.

Эти особенности связаны, прежде всего, с различием конструкций поперечных и продольных фотосопротивлений. Если в собственной области толщина  $d$  поперечных фотосопротивлений не более 30мкм (условие  $\alpha d \sim 1$ ) при возможности увеличения длины  $l$ , стало быть, величины сопротивления, то для продольного фоторезистора в собственной области требования к повышению сопротивления и эффективности преобразования совершенно противоположны. Для продольных фотосопротивлений важны соотношения между диффузионной длиной и воздействием на эти величины спектрального состава излучения и уровня фоновой засветки.

Для продольных фотосопротивлений, в отличие от поперечных, должно быть выполнено условие прозрачности электрода, обращенного к излучению, важно направление включения, ориентация низкоомного  $p^+$ -слоя относительно излучения, его толщина и степень легирования. Эти особенности, в первую очередь, связаны с более сильным взаимодействием концентрационных градиентов во всех их вариантах: на основных и неосновных носителях, на центрах с разными зарядовыми знаками, на квазинейтральных ассоциациях.

Решение задачи о превалировании того или иного механизма формирования фототока как в полосе собственного поглощения, так и в примесной области представляется, кроме того, важным и с прикладной точки зрения, так как позволяет рекомендовать оптимальные режимы для получения максимальной фоточувствительности.

Изучение темновых ВАХ эпитаксиальных  $p^+$ - $p$  – структур из InSb, выращенных методом жидкостной эпитаксии, о котором говорилось в [1], позволило выяснить некоторые особенности механизма токопереноса в

продольных фотосопротивлениях InSb, связанные с инжекцией электронов. Однако, целый ряд важных характеристик той же инжекции оказался не выясненным. В частности, пока не известен уровень заполнения центров  $E_v+0,12\text{эВ}$  а также детали механизма рекомбинации через уровень  $E_v+0,07\text{эВ}$  и т.д. Поэтому исследование ВАХ совместно с изучением фотопроводимости должно дать существенно больше информации о процессах переноса заряда.

### ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе проведено совместное изучение ВАХ и полевых зависимостей собственной и примесной продольной фотопроводимости (ФП) эпитаксиальных  $p^+-p$  – структур из InSb при 77К. Исследованные структуры были изготовлены методом жидкостной эпитаксии. Подложками служили пластины InSb p-типа проводимости ( $p \sim 5 \cdot 10^{12} - 5 \cdot 10^{13} \text{см}^{-3}$ ,  $\mu \sim 3 - 5 \cdot 10^3 \text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\rho \sim 300 \text{Ом} \cdot \text{см}$ ), компенсированные Ge и ориентированные в плоскостях (111) и (100). Эпитаксию проводили в сдвиговой графитовой кассете в потоке водорода при легировании раствора - расплава кадмием при температурах 290-320°C. Выращенные эпитаксиальные слои имели зеркально гладкую поверхность, толщину в разных образцах в пределах 5-50мкм и концентрацию дырок  $p^+ \sim 5 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$ .

Для исследования фотоэлектрических свойств образцов была использована экспериментальная установка, собранная на базе ИКС-14, преобразованного в монохроматор с помощью параболического зеркала, установленного за призмой и фокусирующего монохроматический поток на образец, помещенный в азотный криостат.

На Рис.1. приведены полевые зависимости фототока на постоянном сигнале для типичного образца структуры  $p^+-p$  типа при 80К совместно с ВАХ в разных направлениях включения поля при собственном ( $\lambda \approx 5,5 \text{мкм}$ ) и примесном ( $\lambda \approx 10,6 \text{мкм}$ ) сигнальном облучении.

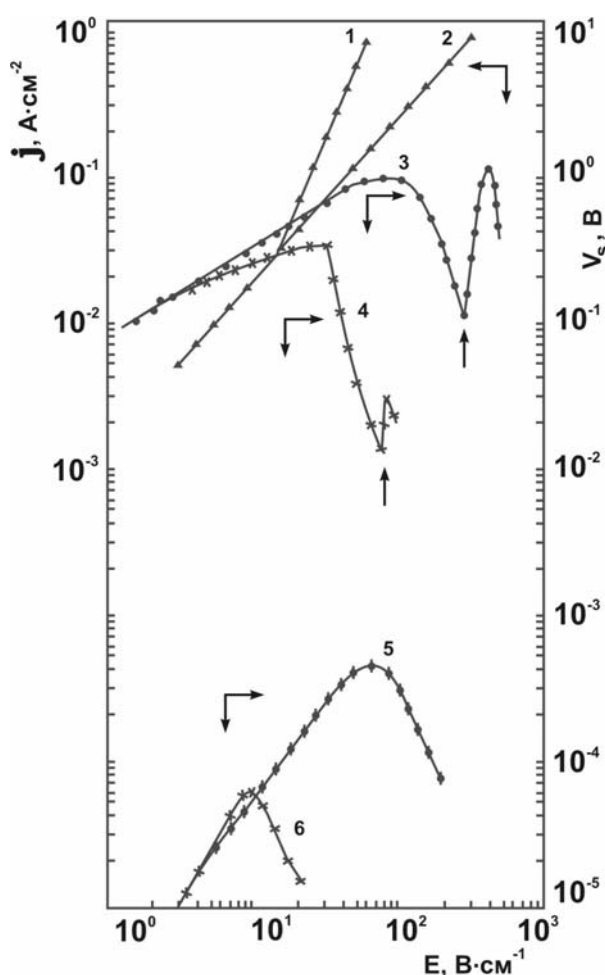


Рис. 1.

ВАХ и полевые зависимости сигнала фотопроводимости (ФП)  $p^+-p$  структуры при 5,5мкм и 10,6мкм: 1,2 – ВАХ, 3,4 – ФП при  $\lambda \approx 5,5 \text{мкм}$ , 5,6 – ФП при  $\lambda \approx 10,6 \text{мкм}$ .

Общим для всех образцов является то, что фоточувствительность растет с ростом напряженности поля линейно до тех пор, пока линейна ВАХ. С началом режима инжекции, проявляющегося в суперлинейности ВАХ, сигнал фотопроводимости претерпевает насыщение с последующим спадом как в

собственной, так и в примесной областях спектра. В результате фотопроводимость иногда оказывается на порядок выше с большим значением электрического поля инжекционного пробоя, которое, как правило, имеет место для обратной полярности включения  $p^+$ - $p$  структур. При ограничении инжекции электронов через  $p^+$ - $p$  слой для этого образца достигнуто предельное рабочее поле в 100В/см и максимальная примесная фоточувствительность  $S \sim 5 \text{ А/Вт}$  при  $h\nu \sim 0,12 \text{ эВ}$  (77К).

В прямом направлении в этом образце суперлинейность ВАХ наблюдается при  $E \sim 10 \text{ В/см}$  (кривая 1) из-за инжекции электронов с поверхности высокоомного  $p$ -слоя и имеет несколько изломов, а при обратном включении (кривая 2) сверхлинейность более пологая. Соответственно, полевая зависимость собственной ФП в обратном включении оказалась более сложной, чем в прямом. При этом вместо монотонного экстремума на кривой появился выгиб, соответствующий пробую в прямом включении, и монотонный спад после основного инжекционного пробоя при  $E \sim 10^2 \text{ В/см}$ . Аналогичный провал при  $E \sim 30 \text{ В/см}$  наблюдается и в примесной ФП. Наконец, при полях больших 300В/см после глубокого минимума проявляется еще один относительно узкий минимум.

Интерпретация полевых зависимостей ФП объясняется следующим образом: ток ФП в допробойной области напряжений описывается формулой  $I_{\text{ФП}} = e\beta\alpha I_0 \mu_p \tau_p EA$ , где  $e$  - заряд электрона,  $\beta$  - квантовый выход,  $\alpha$  - коэффициент поглощения,  $I_0$  - световой поток,  $\mu_p$  - подвижность дырок,  $\tau_p$  - время жизни,  $E$  - напряженность поля,  $A$  - площадь приемной площадки. С началом инжекции электронов, проявляющейся в суперлинейности ВАХ, происходит заполнение центров  $E_v + 0,12 \text{ эВ}$  с соответствующим снижением  $\alpha$  и  $\tau_p$ , приводящее к спаду примесной ФП. Спад и второй пик, на наш взгляд, обусловлены сильной инжекцией электронов и уменьшением их времени жизни. Действительно, с увеличением концентрации электронов в  $p$ -области происходит заполнение электронами уровней  $E_v + 0,12 \text{ эВ}$ , а также уровня  $E_v + 0,076 \text{ эВ}$ . В результате этого время жизни электронов  $\tau_n$  увеличивается, а время жизни дырок  $\tau_p$  уменьшается. Это, в свою очередь, влечет за собой уменьшение фотопроводимости. По достижении соотношения  $\Delta n \mu_n \geq \Delta p \mu_p$  между концентрациями неравновесных дырок  $\Delta p$  и электронов  $\Delta n$  вклад электронов в фотопроводимость оказывается более существенным, поэтому с дальнейшим ростом времени жизни электронов  $\tau_n = f(\Delta n)$   $\Delta n$  возрастает. Следствием этого и является появление второго максимума фотопроводимости.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, совместное изучение ВАХ и фотопроводимости облегчает интерпретацию полевых зависимостей фотопроводимости и позволяет получить больше информации о процессах переноса заряда в структурах.

1. Ш.О.Эминов, *Материалы 12-го Международного Симпозиума "Тонкие пленки в электронике, (ISTFE-12), Харьков, (2001) 18.*
2. Ю.Г.Попов, Ш.О.Эминов, Э.К.Гусейнов, *Изв.РАН, Неорганические материалы, 29 (1993) 1148.*

**InSb ƏSASINDA p<sup>+</sup>-p TIPLİ EPİTAKSİAL TƏBƏQƏLƏRİNDƏ VOLT-AMPER  
XARAKTERİSTİKASININ VƏ UZUNUNA FOTOKEÇİRİCİLİYİN BİRGƏ TƏDQIQI**

**Ş.O. EMİNOV, Ə.Ə. RƏCƏBLİ, T.İ. İBRAHİMOV, A.A. DADAŞEV**

InSb əsasında maye faza epitaksiya üsulu ilə alınmış p<sup>+</sup>-p tipli təbəqələrinin məxsusi və aşqar fotokeçiriciliyinin (FK) elektrik sahəsindən asılılığı və volt-ampere xarakteristikası (VAX) 77K-də birgə ölçülmüşdür. FK və VAX-in birgə tədqiqi FK-nın sahədən asılılığının təhlil edilməsini asanlaşdırır. Göstərilmişdir ki, FK elektronların p<sup>+</sup>-p tipli təbəqələrinin p-bölgəsinə injeksiyası səviyyəsindən güclü asılıdır. Buna görə təbəqələrin əksinə qoşulması halında spektrin həm məxsusi həm də aşqar bölgələrində FK-nın maksimumu təbəqələrin düzünə qoşulması halındakı FK-dən bir tərtib yüksəkdir.

**JOINT INVESTIGATION OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS AND LONGITUDINAL  
PHOTOCONDUCTIVITY IN EPITAXIAL p<sup>+</sup>-p STRUCTURES OF InSb**

**Sh.O.EMINOV, A.A.RADJABLI, T.I.IBRAGIMOV, A.A.DADASHEV**

Dependences of longitudinal photoconductivity of p<sup>+</sup>-p epitaxial layers of InSb grown by LPE has been investigated jointly with volt-ampere characteristic at 77K. Joint investigation of photoconductivity and VAC make easier the interpretation of the field dependences of photoconductivity. It had established that the photoconductivity strongly depend on level of electron injection to p-space. That the way the maximal photoconductivity on revert biasing almost one order of magnitude more than photoconductivity on direct biasing on both intrinsic and impurity spectral domains.

Редактор: С.Абдинов