

06.2;06.3;07;12

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТООТВЕТА И УСИЛЕНИЯ ФОТОТОКА ГИБРИДНОЙ ИЗОТИПНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $p\text{-InP-p-InGaAs}$ С ДИОДОМ ШОТТКИ Pd-p-InP

© С.В.Слободчиков, Е.В.Руссу, Х.М.Салихов

В ранее опубликованном сообщении [1] были изложены некоторые результаты исследования фотоэлектрических характеристик гибридной изотипной гетероструктуры $p\text{-InP-p-InGaAs}$ с диодом Шоттки Pd-p-InP при комнатной температуре, где показана перспективность использования ее для решения двойкой задачи — детектирования водорода и ближнего ИК излучения.

В настоящей работе представлены результаты температурных измерений ($T = 106\text{--}300\text{ K}$) фотоответа и коэффициента усиления фототока, позволяющие прояснить особенности процесса усиления и, в частности, изменение фототока без смещения и соответственно коэффициента усиления в зависимости от электрических характеристик элементов структуры. Образцы для исследования создавались по технологии, кратко описанной в [1]. Кроме того, дополнительно были измерены образцы с заменой барьерного контакта Pd на омический $\text{Ag}+5\%\text{Zn}$. На рис. 1, а представлена типичная кривая фототока без смещения в температурном интервале $T = 106\text{--}300\text{ K}$ для одного из образцов $p\text{-InP-p-In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ с диодом Шоттки Pd-p-InP ; аналогичен вид кривой с омическими контактами $\text{Ag} + 5\%\text{Zn}$. Кривые зависимости как фототока $I_{\text{фо}} = f(T)$, так и напряжения холостого хода $U_{\text{хх}} = f(T)$ имеют необычный колоколообразный вид с максимумом примерно в интервале $240\text{--}250\text{ K}$. Естественно было бы ожидать падения $I_{\text{фо}}$ и $U_{\text{хх}}$ с ростом температуры в связи с изменением параметров барьера, разделяющего неравновесные электронно-дырочные пары, уменьшения длины диффузионного смещения и увеличения темновых токов. Между тем, как видно из рис. 1, б, в зависимости $I_{\text{фо}} = f(\frac{1}{T})$ в восходящей части кривой (рис. 1, а) наблюдается экспоненциальный участок в пределах почти 1.5 порядков величины с энергией активации $\simeq 0.1\text{ эВ}$. В работе [2] при исследовании температурной зависимости времен жизни дырок и электронов в p - и $n\text{-InP}$ отмечалась существенная роль

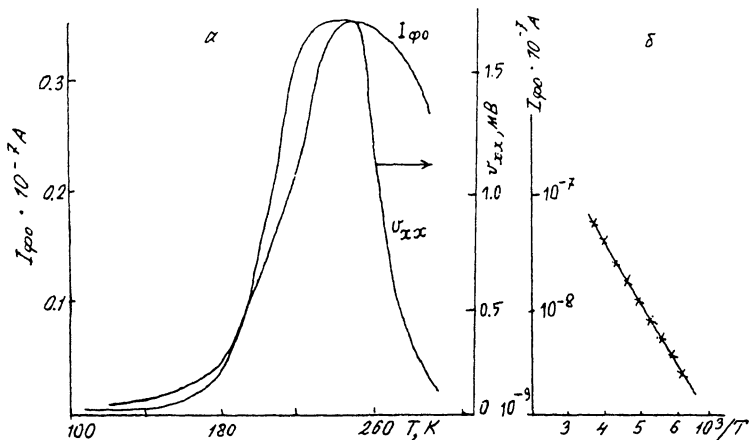


Рис. 1. а — температурная зависимость фототока (без смещения) $I_{\Phi 0}$ и напряжения холостого хода U_{xx} ; б — зависимость $\lg I_{\Phi 0} = f(10^3/T)$.

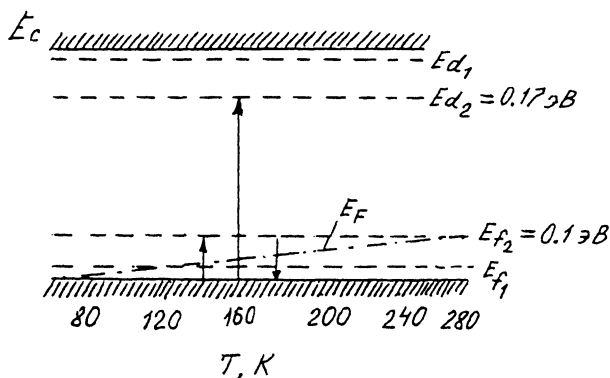


Рис. 2. Энергетическая схема уровней p -InP [2].

центров $E_{f2} = 0.1$ эВ в механизмах захвата и рекомбинации носителей. В этой связи есть основания считать, что в эквивалентной цепи гибридной структуры объем образца и прежде всего слой истощения в p -InP у гетеробарьера

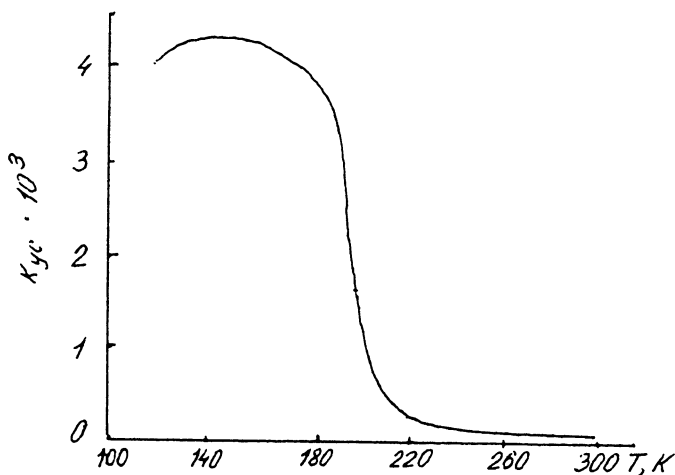


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента усиления фототока ($U = 13$ В).

и частично нейтральная область оказывают определяющее влияние на величину фототока. Изменение фототока оказывается связанным с изменением кинетики рекомбинации на уровне E_{f2} . При низких температурах, когда $E_{f2} \ll E_F$ (E_F — уровень Ферми, рис. 2 [2]), неравновесные фотоэлектроны захватываются пустыми центрами и эффективно рекомбинируют с тепловыми дырками, что приводит к малому времени жизни фотоносителей и соответственно к малому фототоку. Рост температуры приводит к заполнению тепловыми электронами центров E_{f2} и возрастанию времени жизни неравновесных носителей $\tau_n \sim I_{\phi 0} \sim \exp(-\frac{E_{f2}}{kT})$. Спадающая часть кривой рис. 1, а при температурах, близких к комнатной, как показывают оценки, связана с преобладанием межзонной излучательной рекомбинации. Температурный ход коэффициента усиления в основном определяется температурным изменением фототока без смещения. На рис. 3 представлена зависимость коэффициента усиления фототока от температуры для одного из типичных образцов изотипной гетероструктуры с диодом Шоттки Pd-p-InP при фиксированном напряжении смещения $U = 13$ В. Резкое падение усиления начинается в области роста фототока $I_{\phi 0}$ и достигает минимального значения в максимуме $I_{\phi 0}$. При этом коэффициенты усиления при низких температурах достигают значений $4 \cdot 10^3$, а при близких к комнатным ~ 200 . Процесс усиления фотоответа в изученной гибридной изо-

типной гетероструктуре с диодом Шоттки (или без него) при обратном смещении характеризуется двумя основными факторами. Во-первых, модуляцией высоты гетеробарьера $p\text{-InGaAs-p-InP}$, когда световые импульсы открывают "затвор", что приводит к росту как фототока, так и темнового тока. Во-вторых, изменением величины фототока в слое истощения $p\text{-InP}$ из-за наличия уровней захвата и, в частности, уровня $E_{f2} = 0.11$ эВ. Учет обоих этих факторов, меняющихся с изменением температуры, приводит к сложной температурной зависимости коэффициента усиления. В то же время выявляется возможность оптимизации рабочей температуры при практическом использовании гетероструктуры для детектирования ближнего ИК-излучения.

Список литературы

- [1] Слободчиков С.В., Руссу Е.В., Салихов Х.М., Мередов М.М., Языева А.И. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 19. С. 50-54.
- [2] Kovaleuskaya G.G., Slobodchikov S.V. // Phys. Stat. Sol. 1968. V. 30. P. 441.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
25 июля 1996 г.