

диаметром 1.3 м. При линейной скорости вращения диска  $\sim 20$  м/с нижний магнит устойчиво зависал.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] H e l l m a n F., G y o r g y E.M., J o h n s o n D.W., O' B r y a n J., S h e r w o l d R.C. // Journal Applied Physic. 1988. V. 63(2). P. 447-450.
- [2] M a r s h a l l D.B., D e w a m e s R.E., M a r g a n P.E., R a t t o J.J. // Appl. Phys. A. 1989. V. 48. P. 87-91.
- [3] T s u k a m o t o O., Y a s u d e V., C h e n J.J. // IEEE Transaction on Magnetics. 1988. V. 24. N 2. P. 1497-1500.
- [4] R e i t z J.R., D a v i s L.C. // Journal of appl. phys. 1972. V. 43. N 4. P. 1547-1553.
- [5] V a n d e r H e i d e H. // Philips. Techn. Rev. 1974. V. 34. P. 61-72.
- [6] Б о н ш т е д т А.В., Ш и р о н о с о в В.Г. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 5. С. 82-85.

Отделение физико-технических  
проблем транспорта  
на сверхпроводящих магнитах  
АН УССР, Днепропетровск

Поступило в Редакцию  
19 марта 1990 г.  
В окончательной редакции  
1 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 18 26 сентября 1990 г.

06.3

© 1990

### ПЛАНАРНЫЕ PIN-ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}Py/InP$

М.А. Б р а е р , О.Н. З а б е н ь к и н ,  
А.В. К у л ы м а н о в , О.В. О г н е в а ,  
В.Н. Р а в и ч , И.В. Ч и н а р е в а

PIN-фотодиоды (ФД) на основе гетероструктур  $InGaAsP/InP$ -основной тип фотоприемников для волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ), работающих в спектральном диапазоне 1.2-1.6 мкм (рабочие длины волн  $\lambda_1=1.3$  мкм,  $\lambda_2=1.55$  мкм). Их основное преимущество перед германиевыми ФД, предназначенными для того же диапазона длин волн, состоит в возможности получения существенно меньшей плотности темнового тока ( $j_T$ ), особенно при работе в условиях повышенных температур [1].

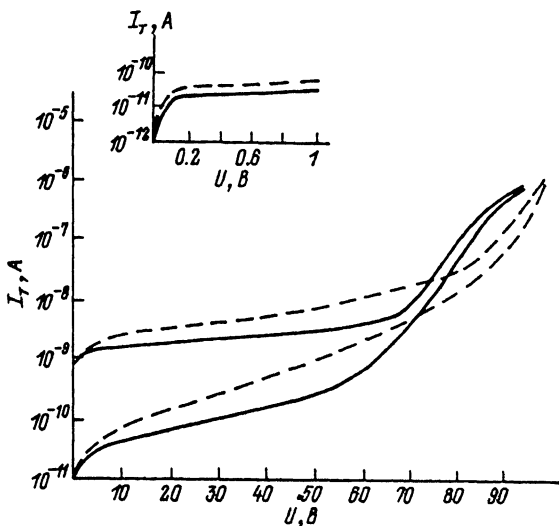


Рис. 1. Обратные ветви ВАХ PIN-ФД с диаметром р-п перехода 200 мкм на основе структур типов 1 (1, 2) и П (3, 4). Т, К: 1, 3 - 293; 2, 4 - 358.

Анализ литературных данных [2-4] показывает, что наиболее перспективной конструкцией PIN-ФД, обеспечивающей высокую стабильность его параметров при длительной эксплуатации, является планарная конструкция прибора. В настоящей работе представлены результаты исследования основных характеристик планарных PIN-ФД на основе гетероструктур  $InGaAsP/InP$  в диапазоне температур 213-358 К.

PIN-ФД изготавливались на основе двухслойных структур, выращиваемых методом жидкофазной эпитаксии на подложках  $InP$ . В качестве поглощающего слоя использовались соединения двух типов: четверное соединение  $In_{0.7}Ga_{0.3}As_{0.6}P_{0.4}/InP$  с шириной запрещенной зоны  $E_g = 0.9$  эВ (в структурах типа 1) или тройное соединение  $In_{0.53}Ga_{0.47}As$  с шириной запрещенной зоны  $E_g = 0.7$  эВ (в структурах типа П). Слой „окна“ в структурах обоих типов выполняется на основе четверного соединения  $In_{0.8}Ga_{0.2}As_{0.4}P_{0.6}$  с шириной запрещенной зоны  $E_g = 1.1$  эВ. Концентрация электронов во всех слоях  $10^{14}-10^{15}$  см<sup>-3</sup>, толщина слоев - 3-5 мкм.

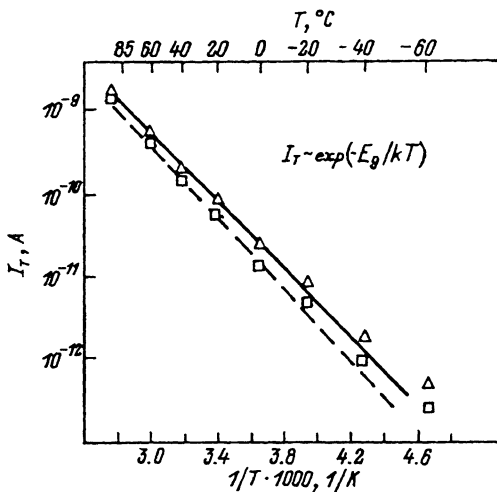


Рис. 2. Температурные зависимости  $I_T$  при  $U_p$  PIN-ФД с диаметром р-п перехода 200 мкм. Сплошная и штриховая линии – расчетные зависимости для структур типов I и II соответственно.

Фоточувствительный элемент фотодиода (ФЧЭ) изготавливался по планарной технологии. В качестве маскирующего и защитного покрытия использовался слой  $Si_3N_4$ , полученный низкотемпературным плазмохимическим осаждением. Локальные р-п переходы диаметрами 80 и 200 мкм формировались диффузией кадмия. В качестве антиотражающего покрытия также использовался слой  $Si_3N_4$ . Омические контакты создавались напылением в вакууме трехслойной системы  $Ti-Pt-Au$ . ФЧЭ монтировался в корпус, обеспечивающий стыковку с волоконно-оптическим кабелем через оптический разъем с диаметром соединительного элемента 2.5 мм.

При рабочих напряжениях  $U_p = 5$  и 10 В и температуре  $T = 293$  К токовая монохроматическая чувствительность ФД на основе обоих типов структур на длине волны  $\lambda_1 = 1.3$  мкм  $S_{\lambda_1} = 0.7 - 0.85$  А/Вт. Чувствительность ФД на основе структур типа II на  $\lambda_2 = 1.55$  мкм  $S_{\lambda_2} = 0.8 - 0.95$  А/Вт. Коэффициент отражения просветляющего слоя  $Si_3N_4$  в спектральном диапазоне 1.2–1.6 мкм  $R = 3 - 5\%$ . С учетом потерь на отражение светового сигнала в отрезке световода конструкции ФД, указанным значениям  $S_{\lambda}$  соответствует внутренняя эффективность преобразования, близкая к 100%.

В интервале температур 213–358 К чувствительность ФД на основе обоих типов структур на рабочих длинах волн уменьшается с ростом температуры, причем общее снижение  $S_{\lambda}$  не превышает 5–7%.

На рис. 1 приведены обратные ветви ВАХ ФД с диаметром р-п перехода 200 мкм на основе структур обоих типов при  $T = 293$  К и  $T = 358$  К.

Зависимости  $I=f(1/T)$  при  $U_p$  представлены на рис. 2. При  $T=293$  К и  $U_p=10$  В величина темнового тока  $I_T=60-500$  нА, что соответствует плотности темнового тока  $j=(2-10) \cdot 10^{-7}$  А/см. Минимальные значения  $I_T$  одинаковы для ФД изготовленных на структурах типов I и II. При увеличении температуры на 10 К  $I_T$  увеличивается в 1.3-1.5 раза в диапазоне температур 213-293 К и в 1.5-1.6 раза в диапазоне температур 293-358 К.

Из характера температурных зависимостей  $I_T$  в диапазоне 293-358 К следует, что основным механизмом тока PIN-ФД при  $U=U_p$  является генерация-рекомбинация носителей в области пространственного заряда (ОПЗ) р-п перехода. Поверхностная составляющая  $I_T$  проявляется лишь при температурах, меньших 258 К на фоне общего темнового тока 0.01 нА; вклад диффузионного тока неосновных носителей во всем диапазоне температур заметен только при  $U$ , меньших 0.1-0.2 В (вставка на рис. 1). Эффективное время жизни носителей в ОПЗ в соединении  $In_{0.7}Ga_{0.3}As_{0.6}P_{0.4}$   $\tau_{эфф}=1-5$  мкс, в соединении  $In_{0.53}Ga_{0.47}As$   $\tau_{эфф}=10-30$  мкс.

Стабильность PIN-ФД при длительной эксплуатации характеризуется, как правило, изменениями  $I_T$  [2]. В настоящей работе стабильность прибора оценивалась в ходе ускоренных испытаний, где в качестве ускоряющих факторов использовались повышенная тепловая и электрическая нагрузки [5]. После испытаний разработанных ФД в течение 5000 часов при  $T=333$  К и  $U=30$  В изменения темнового тока не зафиксировано.

Инерционность PIN-ФД при  $U=U_p$  на длинах волны  $\lambda_1=1.3$  мкм и  $\lambda_2=1.55$  мкм (последнее для структур типа II) не превышала 0.1-0.3 нс; емкость р-п переходов составляла 0.1-0.3 пФ и 0.6-1 пФ при диаметрах р-п перехода 80 и 200 мкм соответственно.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Техника оптической связи: Фотоприемники / Пер. с англ. под ред. У. Тсанга. М., 1988. 526 с.
- [2] S a u l R.H., C h e n F.S. et al. // AT&T Techn. Journ. 1985. V. 64. N 3. P. 861-881.
- [3] R o b e r t s o n M.J., R i t c h i e S. et al. // Electron. Lett. 1988. V. 24. N 5. P. 252-254.
- [4] M a t s u s h i m a Y., N o d a Y. et al. // IEEE J. of Quant. Elektron. 1985. V. QE-21. N 8. P. 1257-1263.
- [5] Ч е р н ы ш е в А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем. М., 1988. 255 с.

Поступило в Редакцию  
2 июня 1990 г.