

06.2; 07

© 1992

ПЛАНАРНЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ *InAs*
МАТЕРИАЛА

В.П. Астахов, Ю.А. Данилов,
В.Ф. Дудкин, В.П. Лесников,
Г.Ю. Сидорова, Л.А. Суслов,
И.И. Таубкин, Ю.М. Эскин

Известно [1, 2] об изготовлении планарных фотодиодов (ФД) на основе материала *InSb* с высокими фотоэлектрическими параметрами имплантацией ионов бериллия. Исходя из принадлежности материала *InAs* к той же полупроводниковой группе A_3B_5 , можно ожидать, что имплантация ионов бериллия является также перспективным способом формирования р-п перехода и изготовления ФД и на основе арсенида индия. Публикации о работах в этом направлении нам не известны. В данной статье приводятся первые результаты наших исследований таких ФД.

Планарные фотодиоды изготовлены имплантацией ионов бериллия через окна размером 150×150 мкм в фоторезистивной маске, нанесенной на поверхность пластин *InAs* с ориентацией [100] и концентрацией дозоров, равной $\sim 2 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$ при температуре 77 К. Послеимплантационный термический отжиг приводил к формированию р $^+$ -слоя толщиной 0.6–0.8 мкм со средней концентрацией $\sim (2-3) \times 10^{18}$ см $^{-3}$. Защита поверхности осуществлялась анодным окислением и нанесением пленки нитрида кремния толщиной ~ 0.2 мкм.

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) изготовленных ФД, а на вставке этого рисунка – зависимость тока от напряжения прямого смещения при $T=77$ К.

Вид ВАХ и значения пробивных напряжений (10–15 В при $T=77$ К) свидетельствуют о высоком качестве р $^+$ -п переходов. Данные вставки свидетельствуют о том, что ВАХ соответствуют выражению $j = j_0 [\exp(qV / \beta k T) - 1]$ при $j_0 = 7 \cdot 10^{-8}$ А/см 2 ,

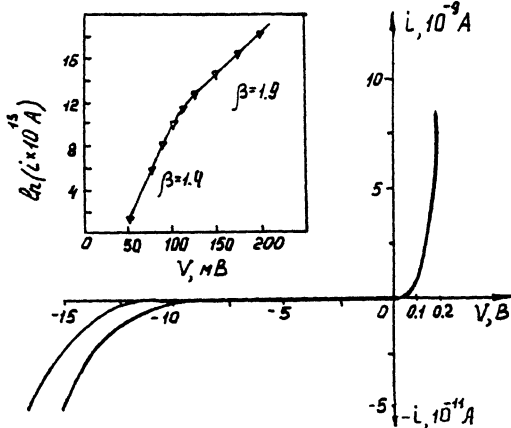


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики ФД из $InAs$, полученных имплантацией ионов бериллия.

причем при напряжении ниже 0.12 В ток обусловлен преимущественно диффузионным механизмом ($\beta \approx 1.4$), а при больших напряжениях — генерацией-рекомбинацией ($\beta \approx 1.9$). Расчет генерационного времени жизни τ в области пространственного заряда (ОПЗ) из соотношения $j_0 = qn_i W / \tau$ (где n_i — концентрация носителей при 77 К в „собственном“ материале, а ширина ОПЗ W определялась из вольт-фарядных характеристик) дал значение $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ с.

На рис. 2 представлена температурная зависимость дифференциального сопротивления R_g изготовленных p^+ - n переходов, измеренного при нулевом смещении. Из рисунка следует, что при температуре ниже 170 К энергии активации E_a соответствует половине ширины запрещенной зоны ($E_g / 2$) для $InAs$, а при более высоких температурах — E_g , т.е. при $T < 170$ К ток через p^+ - n переход обусловлен генерацией в ОПЗ, а при более высоких температурах — диффузией дырок в n -области.

На рис. 3 представлены температурные зависимости шумов, удельной обнаружительной способности D^* и сигнала, полученные для температуры АЧТ излучателя 500 К, а также значения удельной обнаружительной способности $D_{\lambda max}^*$ на длине волны λ_{max} , соответствующей максимуму спектральной характеристики чувствительности для трех значений температуры (77, 170 и 196 К), вычисленные исходя из спектральных зависимостей токовой чувствительности, представленных на рис. 4. Все измерения проводились при эффективных апертурных углах $\theta > 30^\circ$. Значения токовой чувствительности $S_{\lambda max}$ на длине волны λ_{max} составляли 1.6–1.7 А/Вт, что соответствует квантовой эффективности $\eta \geq 70\%$.

Из представленных данных следует, что по значениям $D_{\lambda max}^*$ при температурах 77 и 196 К изготовленные планарные ФД не

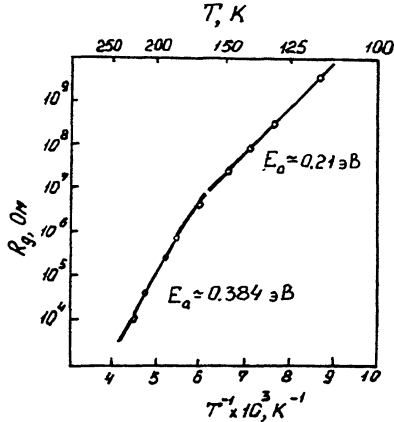


Рис. 2. Температурная зависимость дифференциального сопротивления R_g фотодиодов из $InAs$.

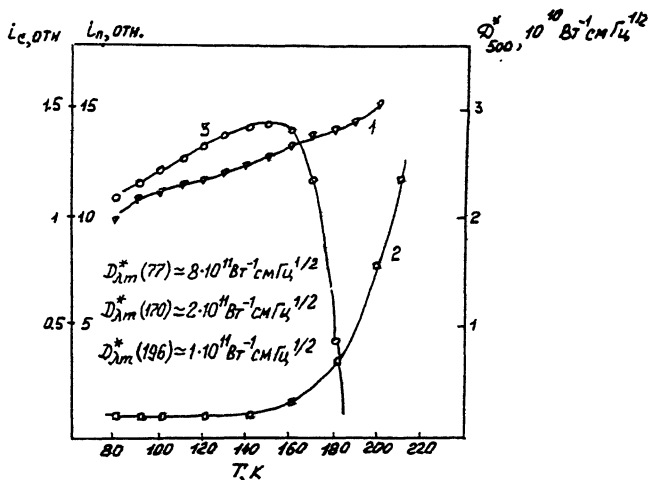


Рис. 3. Температурные зависимости сигнала i_s (кривая 1), шума i_n (кривая 2) и удельной обнаружительной способности от АЧТ 500 К D^*_{500} (кривая 3) фотодиодов из $InAs$.

уступают известным аналогам [3-6]. Длина волны λ_{max} и длинноволновая граница спектральных характеристик составляют соответственно 2.7 и 3.2 мкм при температуре 77 К и 3.1 и 3.4 мкм при температуре 196 К, что также соответствует данным работ [3-6].

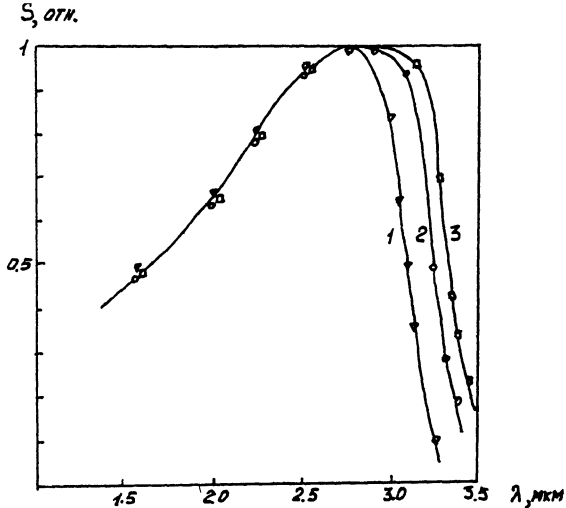


Рис. 4. Спектральные характеристики S_3 ФД из $InAs$ при значениях температуры: 1 - 77 К, 2 - 170 К, 3 - 196 К.

Вся совокупность представленных данных свидетельствует о том, что созданы высокоэффективные планарные ФД на основе материала $InAs$ p -типа проводимости, которые могут найти широкое применение. При глубоком охлаждении ($T=77$ К) эти ФД имеют наивысшие значения параметров ($D_{\lambda_{max}}^* = 8 \cdot 10^{11}$ см $\Gamma_{1/2}$ $Вт^{-1}$, $R_g \cdot A > 10^6$ Ом \cdot см 2 , где A - площадь p^+ - n перехода). При использовании термоэлектрических охладителей ($T=196$ К) получены следующие значения параметров: $D_{\lambda_{max}}^* = 1 \cdot 10^{11}$ см $\Gamma_{1/2}$ $Вт^{-1}$, $R_g \cdot A > 20$ Ом \cdot см 2 . При этом величина R_g может быть увеличена в 8-10 раз приложением обратного смещения величиной $V = (100-150)$ мВ. Это относится и к случаю более высоких рабочих температур. Так, при той же площади p^+ - n перехода и $V = 100$ мВ получены значения $R_g \geq 200$ кОм ($T=230$ К) и $R_g > 2$ кОм ($T=300$ К). В отсутствие смещения значения R_g составляют 30 кОм и 200 Ом соответственно для температур 230 и 300 К.

Изготовленные планарные фотодиоды могут найти применение в системах контроля содержания экологически вредных соединений в газах, в том числе и в воздухе, а также в жидкостях, поскольку в спектральном диапазоне 2-3.5 мкм имеются полосы поглощения многих углеводородов, окислов азота и углерода, сероводорода [7]. Другие возможные области применения этих ФД указаны в [8]. При этом требования к чувствительности соответствующих систем могут быть реализованы путем использования оптимальных способов охлаждения, а во многих случаях - и при комнатной температуре.

- [1] B e t z H., W i e d e b u r g K., R u s -
s e l H., K r a n z H. // IEDM, 1977, Washing-
ton, Techn. Digest.
- [2] R o s b e c k I.P., K a s s i I., H o e n -
d e r v o o g R.M., L a n i r T. // IEEE
Trans. on Electron Devices. 1981. N 7.
P. 161-164.
- [3] M a r k E., Y r e i n e r, C h a r l e s I.
Martin. Proc. SPIE. 1986. P. 686.
- [4] H o l t I. // Elect. Opt. Technol. 1985. V. 21.
N 12. P. 82, 84-90.
- [5] H o l t I. // Lazer Focus/Elect. Opt. 1986. V. 22.
N 12. P. 82-83.
- [6] Judson Infrared Inc., New 1985 Edition,
p. 17.
- [7] M e y e r P.L., S i g r i s t M.V. // Rev. Sci.
Instr. 1990. V. 61. N 7. P. 1779-1807.
- [8] У ш а к о в а М.Б. В сб.: Итоги науки и техники. Электро-
ника и ее применение. 1988. Т. 20. С. 85-128.

Поступило в Редакцию
9 декабря 1991 г.