

СПЕКТРЫ ФОТОЭДС  $\text{InAs}$ , ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ  $\text{Cd}$

И. П. Акимченко, Е. Г. Паншина, О. В. Тихонова, Е. А. Фример

УДК 621.315.592

Исследованы спектральная зависимость фотоэДС и знак термоэДС в  $\text{InAs}$   $n$ -типа, имплантированном ионами  $\text{Cd}$  с энергией 30 кэВ. При внедрении доз не менее  $\sim 10^{16} \text{ Cd}^+/\text{см}^2$  и последующем отжиге при 600 °С получены  $p$ - $n$  структуры, фоточувствительные в области 0,8 - 3,5 мкм.

Исследование фотоэлектрических свойств  $\text{InAs}$   $p$ - и  $n$ -типа, имплантированного ионами  $\text{S}$  и  $\text{Mg}$  с энергией до 350 кэВ, показало /1/, что при внедрении дозы акцепторов  $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  и последующем отжиге при 600 °С в течение 30 мин инверсии типа проводимости не происходит. В этой же работе было обнаружено, что в результате внедрения ионов  $\text{Mg}$  в  $\text{InAs}$   $n$ -типа происходит увеличение концентрации электронов, что свидетельствует об образовании центров донорного типа.

В настоящей работе описаны результаты дальнейших попыток осуществить легирование  $\text{InAs}$   $n$ -типа с концентрацией электронов в исходном материале  $1,7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  (при 300 К) акцепторными примесями, в частности, ионами  $\text{Cd}$  и  $\text{Zn}$ . Исследовалось влияние доз облучения и времени отжига на спектральные характеристики фотоэДС и знак термоэДС. В табл. I приводятся данные об условиях имплантации, пробегах ионов, средней концентрации примеси в имплантированном слое, температуре и продолжительности отжига. Технология отжига описана в работе /1/.

Из приведенных в таблице данных следует, что перекомпенсация исходной примеси в слое происходит при концентрации атомов

Таблица I

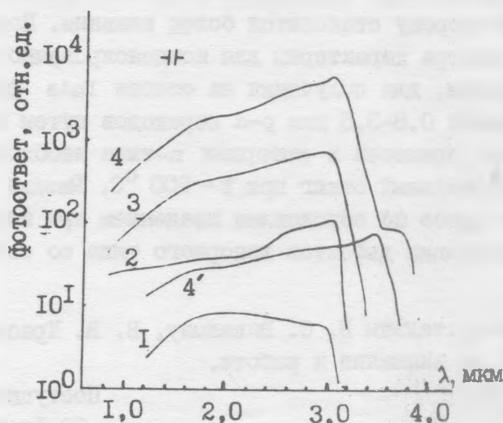
Некоторые параметры, характеризующие условия ионного внедрения и последующего  
термического отжига

№ образ-ца	Ион	Энер-гия ионов, кэВ	Плот-ность тока, мкА/см <sup>2</sup>	Доза, ионов, см <sup>-2</sup>	Толщина импланти-рованного слоя, Å	Концентра-ция, ат./см <sup>-3</sup>	Тип прово-димости	Темпе-ратура отжига, °С	Продолжи-тельность отжига, мин
1	Cd	30	1	$6 \cdot 10^{14}$	200 Å	$2,9 \cdot 10^{20}$	n	600	30
2	Cd	30	2,5	$10^{15}$	200 Å	$4,8 \cdot 10^{20}$	p	600	180
3	Cd	30	2,5	$10^{16}$	200 Å	$4,8 \cdot 10^{21}$	p	600	30
4	Cd	30	2,5	$10^{16}$	200 Å	$4,8 \cdot 10^{21}$	p	600	180
5	Zn	40	2	$3,1 \cdot 10^{14}$	400 Å	$7,6 \cdot 10^{19}$	n	600	30
6	Ar	40	-	$10^{16}$	-	-	n	без от-жига	

сд  $N_{Cd} \geq 4,8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Таким образом, коэффициент использования ионов Cd оказывается меньше  $10^{-4}$ . Столь низкий коэффициент использования указывает на образование при внедрении ионов акцепторной примеси дефектов донорного типа, что было подтверждено нами опытами по имплантации в  $\text{InAs}$  р-типа ионов нейтрального Ar (энергия 40 кэВ, доза  $\sim 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ), приводившей к инверсии типа проводимости.

Измерение спектров фотоэдс в режиме холостого хода осуществлялось при 300 и 100 К при модулированном с частотой 120 Гц и немодулированном световом потоке в области длин волн от 0,8 до 5,0 мкм.

В исходных образцах  $n\text{-InAs}$  и имплантированных цинком сигнал фотоэдс отсутствовал во всей исследуемой спектральной области. Образцы, имплантированные кадмием и отожженные при 600 °С, оказались фоточувствительными в интервале  $\lambda = 0,8 + 3,8$  мкм. Фотоэдс имела положительную полярность на освещаемой со стороны имплантированного слоя поверхности при заземленной противоположной стороне кристалла.



Р и с. 1. Спектральная зависимость фотоэдс образцов  $\text{InAs}$ , имплантированных ионами Cd. Нумерация кривых соответствует нумерации образцов в таблице. Кривые 1-4 сняты при 100 К, 4' - фотоэдс образца № 4 при 300 К

На рис. I представлены спектры фотоэдс, полученные при 100 и 300 К на образцах, имплантированных  $\text{Cd}$ . Как следует из рисунка, величина сигнала фотоэдс тем больше, чем выше доза внедренных ионов и продолжительность отжига. Наименьший по величине сигнал наблюдался в образцах с дозой  $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , в которых инверсии типа проводимости не происходило.

Фоточувствительность образцов, облученных дозой  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ , в 10 раз возрастает при увеличении времени отжига в 6 раз (кривые 3 и 4), что, очевидно, связано с отжигом дефектов и улучшением качества  $p-n$  перехода.

Величина фототока при 300 К приблизительно на 2 порядка меньше сигнала при 100 К (кривые 4 и 4'), что обусловлено большими значениями подвижности носителей при низких температурах в исходном материале. Ширина запрещенной зоны, оцененная по  $0,1$  спада чувствительности в длинноволновой (ДВ) области спектра, составляла для образца № 4 0,374 эВ при 100 К и 0,335 эВ при 300 К, что меньше соответствующих значений  $E_g$  (0,405 эВ и 0,355 эВ), полученных из спектров фотоэдс для исходного  $p\text{-InAs}$  /1/. Кроме того, с увеличением дозы ионов  $\text{Cd}$  и продолжительности отжига ДВ край спектра фотоэдс сдвигается в область меньших энергий, а наклон в ДВ сторону становится более плавным. Подобные изменения формы спектра характерны для компенсированного  $n\text{-InAs}$  /2/.

Таким образом, для получения на основе  $\text{InAs}$  фоточувствительных в области 0,8–3,5 мкм  $p-n$  переходов путем внедрения ионов акцепторных примесей в материал  $n$ -типа необходимы высокие дозы и продолжительный отжиг при  $T \sim 600^\circ\text{C}$ . Низкий коэффициент использования ионов  $\text{Cd}$  обусловлен введением при имплантации большой концентрации дефектов донорного типа со сложной структурой.

Авторы признательны В. С. Вавилову, В. В. Краснопецеву и З. В. Чижовой за внимание к работе.

Поступила в редакцию  
22 февраля 1980 г.

## Л и т е р а т у р а

1. И. П. Акимченко, Е. Г. Панина, О. В. Тихонова, Е. А. Фри-  
мер, ФП, II, 2210 (1979).
2. М. П. Михайлова, А. В. Пенцов, С. В. Слободчиков, ФП, 7,  
1233 (1975).