

УДК 621.383.52:546.682'86

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ФОТОДИОДОВ НА InSb С УЛЬТРАНИЗКИМИ ТЕМНОВЫМИ ТОКАМИ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ИК ПЗС

В. П. Астахов, Д. А. Гундин, В. В. Карпов, Г. С. Соловьева, А. В. Талимов
ОАО «Московский завод «Сапфир»», Москва, Россия

Ю. Р. Винецкий, А. Г. Тутов, В. И. Фамицкий

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орион»»,
Москва, Россия

Представлены результаты исследований, позволившие определить пути усовершенствования базовой топологии и технологии изготовления фотодиодов на кристаллах InSb . Введение этих усовершенствований снижает уровень темновых токов фотодиодов до значений $\leq 3 \cdot 10^{-11}$ А, соответствующих требованию к низкофононым фотоприемникам спектрального диапазона 3–6 мкм, работающих в BLIR-режиме.

Для реализации BLIP-режима в низкофоновых системах обнаружения на основе фотодиодов (ФД) из InSb требуется иметь уровень темновых токов таких фотодиодов не более $3 \cdot 10^{-11}$ А для площадки 50×50 мкм² при обратном смещении 0,2 В. В то же время, базовая технология, разработанная в НИИПФ и внедренная в 1987 г. на ОАО МЗ «Сапфир», позволяет изготавливать ФД с уровнем темновых токов в лучшем случае в три раза большим. При этом, согласно [1], темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) ФД, изготовленных по базовой технологии, определяются свойствами металлургической границы p — n -перехода, а в некоторых случаях и утечкой через диэлектрик. Таким образом, снижение уровня темновых токов связано, в первую очередь, с улучшением свойств металлургической границы p — n -перехода. Положительно может повлиять также изменение топологии, в частности, приближение охранного кольца (ОК) к границам фоточувствительных площадок (в соответствии с результатами работы [2]) и утолщение диэлектрика под контактными площадками (КП), а также усовершенствование режимов и последовательности разварки кристалла золотым проводом на растр, кристалл кремниевого ПЗС, технологический или измерительный корпус.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе поставлена задача определения путей усовершенствования базовой технологии и топологии, позволяющих применять эту технологию для производства низкофоновых фотоприемников (ФП). Для 128-элементной линейки с размером фоточувствительных площадок 50×50 мкм² и топологией, показанной на рис. 1, работа проводилась в трех направлениях:

усовершенствование режимов имплантации и отжига для получения более совершенной металлургической границы p — n -перехода;

усовершенствование режима разварки с целью минимального «травмирования» металлургической границы p — n -перехода, его защиты и «прожигания» диэлектрика по КП;

усовершенствование топологии в части оптимизации расстояния от границ площадок до ОК и толщины диэлектрика под КП.

В связи с этим проведены три серии экспериментов. В первой серии для базовой топологии (когда расстояние от границ площадок до ОК составляет 30 мкм, защита осуществляется анодной окисной пленкой (АОП) толщиной

500 Å и пленкой SiO толщиной 0,5 мкм) сравниваются обратные ветви ВАХ для четырех технологических схем формирования p^+ - n -перехода:

1) базовый (двухстадийная имплантация ионов Be^+ : $E_1 = 100$ кэВ, $\Phi_1 = 1 \cdot 10^{14}$ см⁻² и $E_2 = 40$ кэВ, $\Phi_2 = 10^{14}$ см⁻² и последующий отжиг с капсулирующей пленкой SiO₂ при $T = 375$ °С в течение 0,5 в потоке Ag и H₂);

2) одностадийная имплантация ионов Be^+ : $E = 40$ кэВ, $\Phi = 10^{14}$ см⁻² и последующий отжиг без капсулирующей пленки импульсами излучения галогенных ламп (ИФО) в форвакууме ($T_{и} = 380$ °С, $\tau_{и} = 30$ с) в соответствии с [3];

3) одностадийная имплантация ионов Be^+ : $E = 40$ кэВ, $\Phi = 10^{14}$ см⁻² и последующий отжиг без капсулирующей пленки в потоке Ag и H₂ при $T = 280$ °С в течение 0,25 ч;

4) то же, что и в (3), но при температуре отжига $T = 375$ °С в течение 0,5 ч.

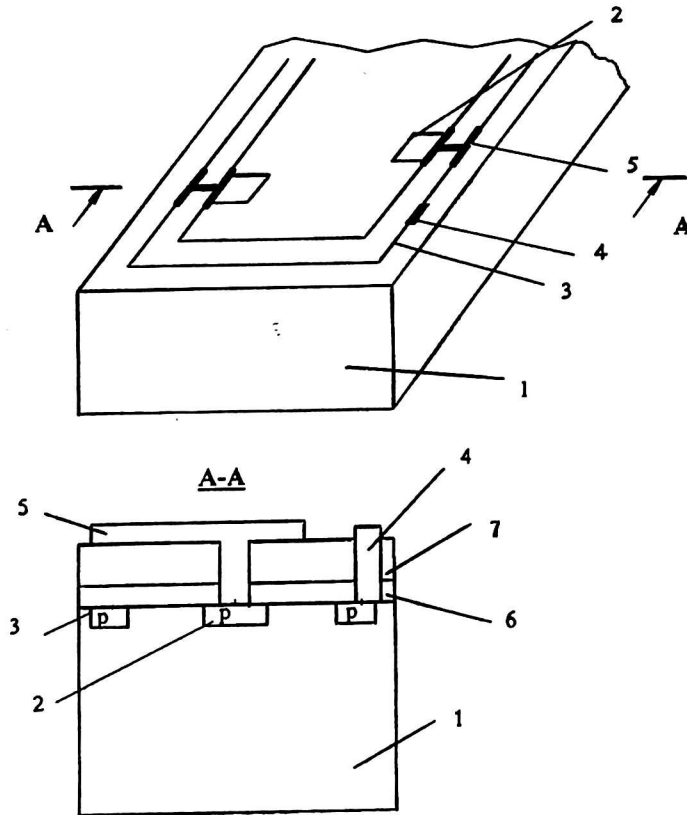


Рис. 1. Топология кристалла ФД-линейки:

1 — подложка n -типа; 2 — фоточувствительная площадка; 3 — дополнительный короткозамкнутый p^+ - n -переход (ОК); 4 — закоротка дополнительного p^+ - n -перехода; 5 — контактная площадка; 6 — АОП; 7 — SiO

Остальные процессы формирования приборной структуры соответствовали базовой технологии (формирование АОП толщиной 0,05 мкм в гальваностатическом режиме и электролите на основе Na₂S, нанесение SiO (0,5 мкм) и Cr+Au (0,6—0,8 мкм) термическим распылением, вскрытие SiO с применением плазмохимического травления). Линейки приклеивались на основание 32-выводных планарных корпусов; последующая термокомпрессионная разварка производилась

от кристалла — на ламели корпуса, соответственно, в “мягком” и “жестком” режимах по напряжению (току через электрод) и давлению электрода. ВАХ измерялись при заливке корпуса жидким азотом в бесфоновых условиях.

Типичные лучшие, средние и худшие обратные ветви ВАХ для всех четырех технологических схем представлены на рис. 2, из которого следует, что наименьшие темновые токи примерно одинакового уровня могут быть достигнуты при применении “смягченного” режима имплантации ($E = 40$ кэВ, $\Phi = 10^{14}$ см $^{-2}$) и отжига без капсулирующей пленки либо при $T = 280$ °С в потоке Ag и H $_2$, либо ИФО в форвакууме.

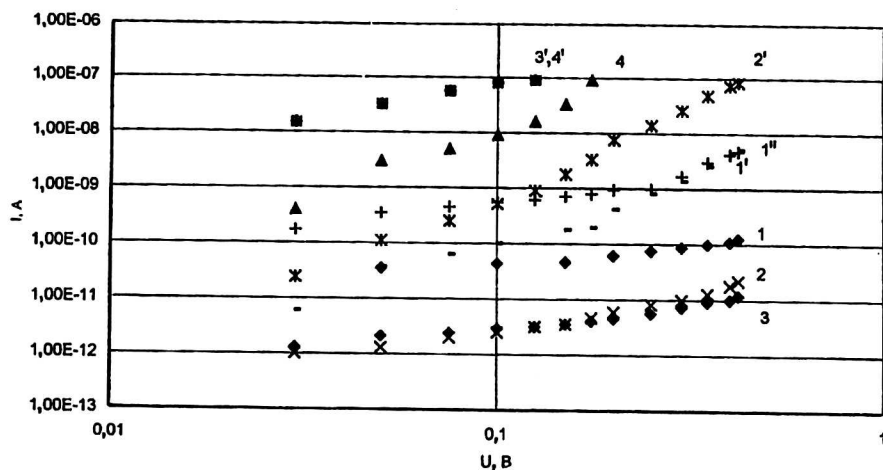


Рис. 2. Обратные ветви ВАХ площадок для технологических схем первой серии экспериментов:

(номеру технологической схемы 1—4 соответствует номер кривой): 1, 1', 1'' — соответственно лучшая, средняя, худшая ВАХ технологической схемы 1; (аналогично для схем 2, 3, 4)

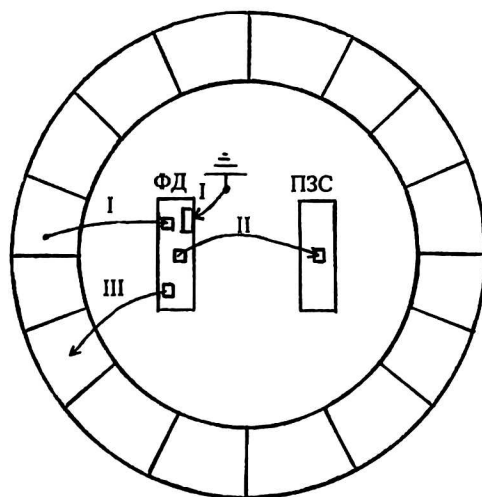


Рис. 3. Схемы разварки во второй серии экспериментов:

- I — от растра (“жесткий” режим) — на контактную площадку кристалла ФД (“мягкий” режим); разварка начинается с “общего” вывода, который сразу заземляется;
- II — от кристалла ФД (“мягкий” режим) — на кристалл ПЗС (“средний” режим);
- III — от кристалла ФД (“мягкий” режим) — на растр (“жесткий” режим)

Таблица 2

Основные параметры партии со стационарным отжигом
(данные третьей серии экспериментов);
 n — показатель степени в зависимости $I \sim U^n$, обратной ВАХ,
 β — коэффициент из зависимости $I \sim I_0 \exp(eU/\beta kT)$ прямой ВАХ

№ вывода	n	$I (U=0,2 \text{ В}), \text{ А}$	β
32	0,5	1,70E-11	1,56
31	0,67	4,79E-11	1,56
30	0,3	1,87E-11	1,56
29	0,39	2,25E-11	1,56
28	1,43	2,57E-09	1,06
27	0,64	1,90E-11	1,56
26	0,5	7,50E-04	1,88
25	0,8	1,80E-11	1,88
23	0,6	1,10E-10	1,88
22	0,91	1,76E-11	1,61
21	0,95	3,00E-11	1,88
20	0,91	1,78E-11	1,61
19	0,91	1,90E-11	1,61
18	0,91	1,80E-11	1,61
16	0,85	6,95E-10	1,88
15	0,9	2,17E-11	1,31
14	0,91	1,95E-11	1,6
13	0,55	1,47E-03	1,37
11	0,85	5,49E-06	2
10	0,9	1,85E-11	1,52
9	1,15	3,14E-07	1,88
8	1	5,40E-11	1,52
7	1,2	3,99E-11	1,52
6	0,65	2,41E-04	1,1
5	0,62	1,42E-04	1,37
4	0,7	4,58E-04	1,37
3	3,1	9,74E-08	2
2	0,7	2,46E-11	1,52

Используя принципы этих экспериментов, требуется определить пути повышения выхода годных площадок с заданным уровнем темновых токов. Весь комплекс представленных результатов свидетельствует о том, что главным путем к этому является дальнейшее усовершенствование процесса разварки. При этом следует отметить, что данные табл. 1 и 2 по величине n свидетельствуют о том, что понижение уровня темновых токов возможно за счет усовершенствования защиты поверхности, которое приблизит значения n к 0,5, обеспечив тем самым преимущество токов через металлургическую границу p^+ — n -перехода перед токами утечки для выбранных режимов формирования p^+ — n -переходов и топологии.

Выводы

Пути усовершенствования базовой технологии и топологии ФД на InSb для изготовления низкофоновых фотоприемников являются следующие.

1. Замена базового стационарного отжига с капсулирующей пленкой при $T = 375 \text{ }^\circ\text{C}$ на отжиги без капсулирующей пленки либо импульсный фотонный ($380 \text{ }^\circ\text{C}$, 10—30 с), либо стационарный при $T = 280 \text{ }^\circ\text{C}$ при “смягчении” режима имплантации ионов Be^+ ($E = 40 \text{ кэВ}$, $\Phi = 10^{14} \text{ см}^{-2}$).

2. Уменьшение зазора между площадкой и ОК от 30 до 7÷10 мкм.

3. Введение дополнительного диэлектрического слоя под контактной площадкой.

4. Проведение разварки от растра или кристалла ПЗС — к контактной площадке кристалла (“мягкий” режим) с предварительной разваркой и заземлением общего вывода.

Указанные меры позволяют достигнуть величин темновых токов до $7 \cdot 10^{-12}$ А при $U = 0,2$ В на фоточувствительных площадках 50×50 мкм², что отвечает условиям реализации VLIP-режима в низкофоновой системе.

Л и т е р а т у р а

1. Астахов В. П., Демидова Л. В., Дудкин В. Ф. и др.: Пат. РФ 1589963, 1995.
2. Астахов В. П., Гиндин Д. А., Карпов В. В. О влиянии дополнительного планарного *p-n*-перехода, расположенного вблизи основного // Письма в ЖТФ, 1998. № 4. С. 72—76.
3. Астахов В. П., Дудкин В. Ф., Карпов В. В. и др. Применение импульсного лампового отжига в технологии изготовления фотодиодов из InSb // Вопросы оборонной техники. 1993. Сер. 11. Вып. 1—2. С. 18—22.

DEVELOPMENTS IN InSb-PHOTODETECTORS WITH VERY-LOW-LEVEL DARK CURRENT FOR USE IN HIGH PERFORMANCE IR CCDs

V. P. Astakhov, D. A. Gindin, V. V. Karpov, G. S. Solovjeva, A. V. Talimov
Joint Stock Company «Moskovskiy Zavod “Sapfir”», Moscow, Russia

Yu. R. Vinetski, A. G. Titov, V. I. Famitski
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre “Orion”», Moscow, Russia

The results are presented of technological investigations in basic technology of InSb-photovoltaic detectors. This allow to improve the basic technology so as very low dark current level ($\leq 3 \cdot 10^{-11}$ А) of the photodetectors is achievable. The results permits InSb photodetectors to be used effectively in low-background 3—5 mkm band systems to realize close-to-back ground-limited performance.