

УДК 621.315.51

PACS: 42.70 Hg

Фотонный отжиг при изготовлении планарных фотодиодов из антимионида индия

А. В. Артамонов, В. П. Астахов, П. Д. Гиндин, Н. И. Евстафьева,
В. В. Карпов, Г. С. Соловьёва, В. Е. Степанюк

Проведено сравнение электрофизических и фотоэлектрических параметров малоразмерных многоплощадочных планарных фотодиодов из антимионида индия с кристаллами, изготовленными в рамках единой партии по четырём вариантам технологии: базовой с применением имплантации ионов бериллия и трём другим на основе базовой технологии, отличающимися уменьшенными значениями энергии, дозы имплантации и методом постимплантационного отжига. Показана перспективность применения фотонного отжига в сочетании с изменёнными режимами имплантации в базовой технологии. Это позволяет уменьшить число технологических операций и исключить применение токсичного моносилана и взрывоопасного водорода при выигрыше характеристик фотодиодов по интегральной токовой чувствительности на ~ 8 % и удельной обнаружительной способности на ~ 4 %.

Ключевые слова: секундный фотонный отжиг, базовая технология, планарный фотодиод, антимионид индия.

Введение

Базовая технология изготовления планарных фотодиодов (ФД) из антимионида индия включает в себя локальную двухстадийную имплантацию ионов бериллия с максимальной энергией 100 кэВ и последующий стационарный термический отжиг (ТО) (формирование площадок планарных p^+n -переходов), анодное окисление и нанесение слоя SiO_x (защита и пассивация поверхности планарных

p^+n -переходов), нанесение контактного слоя последовательным напылением хрома и золота (формирование контактной системы) и сопутствующие процессы фотолитографии и отмычки. При этом режимы и условия проведения всех процессов подобраны таким образом, чтобы обеспечить и сохранить совершенство металлургической границы p^+n -переходов и поверхности базовой области кристалла, а также абсолютную величину эффективного поверхностного заряда на границе InSb – анодный окисный слой, не превышающую критической величины.

Перед проведением ТО на поверхность имплантированных пластин наносится капсулирующая пленка SiO_x , препятствующая испарению легколетучей сурьмы из кристалла. После окончания ТО пленка удаляется химическим травлением. Процесс нанесения пленки производится окислением токсичного моносилана, а сам отжиг – в смеси газов аргона и взрывоопасного водорода.

Из изложенного следует, что в базовой технологии применяются токсичный и взрывоопасный газы, а сам отжиг сопровождается двумя дополнительными операциями: нанесение капсулирующей пленки до отжига и ее удаление после отжига.

Безусловно, представляет интерес развитие такого вида отжига, который свободен от указанных недостатков. В частности, им может быть кратковременный (секундный) фотонный отжиг (СФО), при котором нагрев образца обеспечивает

Артамонов Антон Вячеславович¹, старший научный сотрудник.

Астахов Владимир Петрович², главный специалист, д.т.н.

Гиндин Павел Дмитриевич², генеральный директор, д.т.н.

Евстафьева Наталья Игоревна², начальник отдела.

Карпов Владимир Владимирович², заместитель генерального директора по гражданскому приборостроению – начальник ЦКБ, к.ф.-м.н.

Соловьёва Галина Сергеевна², ведущий инженер-технолог.

Степанюк Владимир Евгеньевич³, начальник участка.

¹ ООО «Технологические системы защитных покрытий».

Россия, 105484, Москва, 16-я Парковая улица, 27.

E-mail: art-bass@mail.ru

² АО «Московский завод «САПФИР».

Россия, 117545, Москва, Днепропетровский проезд, 4А, стр. 3А.

Тел. 8(495) 315-73-68. E-mail: ko-ckb@mail.ru

³ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 7 сентября 2017 г.

© Артамонов А. В., Астахов В. П., Гиндин П. Д., Евстафьева Н. И., Карпов В. В., Соловьёва Г. С., Степанюк В. Е., 2017

ся интенсивным потоком излучения. Благодаря кратковременности такой отжиг не требует присутствия на поверхности капсулирующей пленки, поскольку диффузионные процессы, приводящие к испарению из кристалла атомов сурьмы, не успевают заметно развиться. При этом отжиге, так же как и в базовой технологии, требуется не допустить окисление поверхности InSb, которое приводит к образованию эффективного поверхностного заряда выше критической величины, ниже которой обеспечиваются минимальные токи поверхностной утечки и отсутствие импульсных (взрывных) шумов планарных p^+-n -переходов [1]. Это условие может обеспечиваться проведением СФО при форвакуумной откачке ($10^{-3} \div 10^{-2}$ Торр), когда остаточное давление в камере еще достаточно для предотвращения испарения атомов сурьмы, а количество атомов кислорода и продолжительность процесса таковы, что окисление практически не происходит.

Настоящая работа имеет целью показать преимущества СФО перед ТО при применении в базовой технологии изготовления планарных ФД из антимонида индия.

Развитие фотонного отжига имплантированных слоев полупроводников

Следует отметить, что фотонный отжиг развит прежде всего как постимплантационный, и он начинался как импульсный лазерный с длиной волны излучения лазеров 0,69 и 1,06 мкм применительно к кремнию. При этом длительность импульсов составляла нано- и микросекунды при мощности десятки и сотни ватт, поскольку для рекристаллизации аморфизованных при имплантации областей кристалла и электрической активации имплантированных атомов требуется передача образцу значительного количества тепловой энергии. Результаты этих работ представлены в обзоре [2] и монографии [3].

В то же время в работах [4, 5] сообщалось о возможности эффективного развала сложных дефектов радиационно-термического происхождения не столько за счет переданного тепла, а больше за счет превышения некоторой критической скорости нагрева [4] и атермических процессов, инициируемых взаимодействием светового потока с имплантированными областями [5], что легко реализовать при импульсном фотонном отжиге. Было также продемонстрировано повышение эффективности отжига при сочетании СФО и ТО [6], когда сначала производится диссоциация тяжело отжигающихся сложных дефектов, а затем достаточно низкотемпературный стационарный термический доотжиг упрощенной дефектной системы. Для производственного применения были

разработаны установки с ксеноновыми и галогенными лампами, имеющими спектральный состав излучения близкий к солнечному, (причем, более длинноволновый в случае галогенных ламп по сравнению с ксеноновыми) [7]. Именно установки с галогенными лампами применяются в производстве кремниевых интегральных схем и СВЧ-приборов, причем с возможностью программировать скорости нагрева и охлаждения и продолжительность выдержки при температуре отжига в течение миллисекунд и секунд. Отжиг на таких установках по инерции назывался также импульсным фотонным, хотя в производственной среде и в отдельных публикациях он более правильно называется секундным фотонным отжигом.

Применительно к антимониду индия фотонный отжиг представлен в литературе работами, в которых применялись лазеры на CO_2 с рабочей длиной волны 10,6 мкм (см. работы [8, 9]), установки с секундными импульсами на ксеноновых (см. работу [10]) и галогенных лампах (см. работы [11, 12]). В случаях CO_2 -лазера и галогенных ламп показан положительный эффект отжига после имплантации ионов Be^+ с энергиями и дозами ниже значений, соответствующих аморфизации. Считается, что в случае лазера на CO_2 отжиг обусловлен поглощением столь длинноволнового излучения дефектами по всей толщине пластины, а в случае галогенных ламп – собственным поглощением излучения на глубинах от поверхности до $2 \div 3$ мкм. В случае ксеноновых ламп показано, что отжиг дефектов происходит лишь на глубинах до $\sim 0,15$ мкм, из-за чего более отдаленная часть имплантированного слоя оказывается неотожженной, и это обусловлено «мелким» поглощением коротковолнового излучения таких ламп.

Наиболее полно положительные результаты практического применения СФО представлены в работе [12], выполненной с использованием установки на галогенных лампах. Процесс производился при давлении 10^{-2} Торр на установке первого поколения типа «Импульс-5» с контролем температуры отжигаемой пластины термопарой, прижимаемой к кремниевой подложке. При этом пластина с термопарой закрывалась от излучения лежащим на пластине кремниевым фильтром, отсекающим излучение с длиной волны менее 0,9 мкм. Скорости нагрева и охлаждения определялись массой пластины, подложки и фильтра и составляли 20 град/с и 0,4 град/с соответственно. Температура, достигаемая при облучении одиночным импульсом длительностью 1–10 с, составляла $350 \div 370$ °С. Наилучшие результаты получены для случая энергии ионов Be^+ $E = 40$ кэВ и дозы (флюенса) $\Phi = 10^{14}$ см $^{-2}$. При этом фотоэлектрические параметры и выход годных образцов превосходили получаемые в случае применения базовой технологии. Следующие результаты, полученные

на установке второго поколения типа «Оникс» с галогенными лампами, имеющей возможность программировать температуру образцов на всех стадиях СФО (нагрев – выдержка при температуре отжига – охлаждение) подтвердили преимущество СФО также и в части достижения лучших структурных свойств создаваемых p^+-n -переходов, подтвержденное измерениями методом наведенного тока [13].

Сравнительно недавно в слоях InSb, имплантированных ионами Be^+ , обнаружены два типа дефектов, один из которых (скопления вакансий индия) отжигается при температуре 320 °С, а другой (сложные ассоциаты) – при температуре 385 °С. Оказалось, что двухстадийный процесс СФО (сначала при 320 °С, а затем при 385 °С в течение не менее 20 с на каждой стадии) повышает эффективность развала и аннигиляции дефектов в 1,5 раза по сравнению с одностадийным СФО при температуре 385 °С [14]. Режимы такого СФО закреплены патентом [15].

Таким образом, предпосылки возможного практического применения СФО в разработках и производстве фотодиодов из InSb налицо. Однако, имеются и отрицательные сопутствующие факторы, а именно:

- отечественные установки для СФО обладают низкой производительностью (1 пластина диаметром не более 60 мм за 1 час), которая обусловлена необходимостью обеспечения скорости охлаждения не более 20 град/мин для предотвращения образования закалочных центров и достаточно длительной откачки рабочего объема вакуумной камеры до и после процесса;

- несовершенство контроля температуры прижимной термопарой, сигнал от которой поступает в схему регулировки температуры.

Эти факторы, а также устойчивость и обеспечение базовой технологией требований к выпуска-

емым серийным ФД объясняют отсутствие у разработчиков и производителей достаточного внимания к СФО.

Методики проведения экспериментов и измерений

В рамках единой партии были изготовлены кристаллы 12-площадочных планарных фотодиодов с площадями, составляющими $1,75 \times 10^{-4} \text{ см}^2$, по четырём вариантам технологий, отличительные особенности которых представлены в табл. 1. По каждому варианту запущены 5 пластин InSb марки ИСЭ-О с кристаллографической ориентацией (100). Основой всех вариантов является базовая технология (Вариант 1). В остальных вариантах с целью использования лучших предшествующих результатов по СФО (см. работы [12–14]) и повышения интегральной токовой чувствительности за счет формирования более мелких p^+-n -переходов уменьшены энергия и доза (флюенс) имплантации и применены различные варианты отжига: ТО по базовой технологии (Вариант 2), СФО с последующим ТО (Вариант 3) и СФО (Вариант 4). Цель Варианта 3 – проверить возможность улучшения фотоэлектрических параметров за счет предполагаемой повышенной эффективности сочетания двух видов отжига: СФО и ТО. В отличие от работы [12], СФО в данной работе производился на установке с галогенными лампами типа «Оникс» по задаваемой программе нагрева, выдержки и охлаждения образца без применения кремниевого фильтра. Контрольная термопара также была открыта излучению ламп, не была прижата к образцу и ее температура заводилась в программу с поправкой, определявшейся при оплавлении поверхности образца как разница между температурой, фиксируемой термопарой, и температурой плавления InSb.

Таблица 1

Варианты технологии изготовления кристаллов экспериментальных образцов фотодиодов

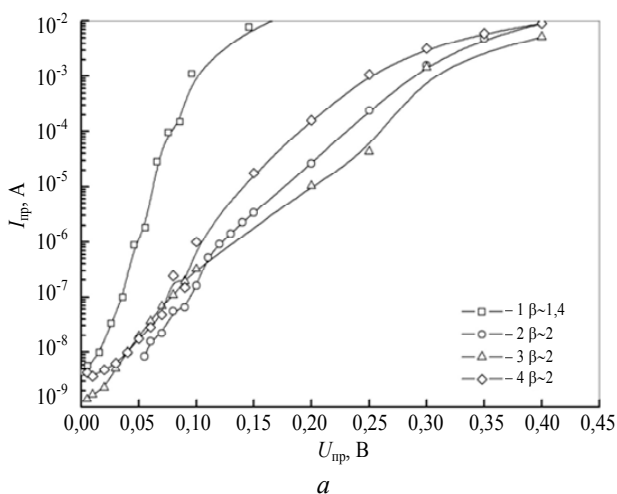
№ варианта	Режим имплантации ионов Be^+	Вид отжига и его режим	Сопутствующие отжигу дополнительные процессы
1 (целиком по базовой технологии)	Двухстадийный с максимальной энергией ионов $E = 100 \text{ кэВ}$	ТО $T = 370 \text{ °С}$, $t = 40 \text{ мин}$ в потоке смеси аргона и водорода	Предварительное нанесение капсулирующей пленки SiO_2 термическим разложением моносилана и последующее удаление пленки химическим травлением
2 (по базовой технологии, но энергия ионов при имплантации снижена)	$E = 40 \text{ кэВ}$	ТО по базовой технологии	Нанесение и удаление капсулирующей пленки
3 (по базовой технологии, но перед ТО производился СФО; энергия ионов при имплантации снижена)		Двухстадийный СФО в вакууме по патенту [15] с последующим ТО по базовой технологии	Нанесение и удаление капсулирующей пленки
4 (по базовой технологии, но ТО заменен на СФО; энергия ионов при имплантации снижена)		Двухстадийный СФО в вакууме по патенту [15]: $T_1 = 320 \text{ °С}$, $t_1 = 20 \text{ с}$; $T_2 = 385 \text{ °С}$, $t_2 = 20 \text{ с}$	Отсутствуют

После изготовления по каждому варианту кристаллы отбраковали по прямой ветви ВАХ и напряжению расшумливания, капсулировали и собирали ФД, охлаждаемые холодильниками на основе эффекта Джоуля–Томсона. На собранных приборах по методикам ГОСТ 17772-88 измеряли токи сигнала I_c и шума $I_{ш}$, по которым рассчитывали значения интегральных токовой чувствительности S_i и удельной обнаружительной способности D^* . Для оценки эффективности каждого варианта технологии рассчитывали средние значения этих параметров в пределах партии. Измерения проводили на установке ИФП-0-4Т-180-ОУ при температуре АЧТ 500К на частоте 1200 Гц на 12 идентичных по площади планарных p^+n -переходах на каждом из изготовленных кристаллов, число которых составляло до 10 шт. на каждой пластине. Собранные ФД имели фильтры, отсекающие коротковолновую часть спектра АЧТ с длинами волн менее 3,6 мкм.

Измеряли также темновые прямые и обратные ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) типичных фотодиодов каждого варианта, из которых на основе их соответствия теории Шокли-Нойса-Саа [16] рассчитывали коэффициент неидеальности в прямой ветви β , показатель степени n в обратной ветви степенного вида и генерационное время жизни дырок τ_p в области пространственно-го заряда (ОПЗ) p^+n -перехода.

Расчеты производили на основе формулы (1) для средних прямых смещений и формулы (2) для больших обратных смещений:

$$I_{пр} = I_0 e^{\frac{eU_{пр}}{\beta kT}}, \quad (1)$$



где $I_{пр}$ — прямой ток, I_0 — ток насыщения, $U_{пр}$ — значение прямого смещения, e — элементарный заряд, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура;

$$I_{обр} = \frac{n_i}{\tau_p} \left(\frac{2\varepsilon e U_{обр}}{N_a} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $I_{обр}$ — обратный ток, $U_{обр}$ — значение обратного смещения, n_i — собственная концентрация, ε — абсолютная диэлектрическая проницаемость InSb, N_a — концентрация легирующей примеси в базе диода.

Измеряли также относительную спектральную чувствительность (ОСЧ) типичных ФД.

Результаты измерений и расчетов и их обсуждение

На рис. 1 представлены темновые прямые и обратные ветви ВАХ типичных ФД каждого варианта технологии кристаллов. Расчет данных (рис. 1, б) показал, что обратные ветви ВАХ всех вариантов имеют степенную зависимость тока от напряжения с одинаковым для всех случаев показателем степени $n \approx 1/2$, что свидетельствует о соответствии всех полученных p^+n -переходов теории Шокли-Нойса-Саа [16] и правомерности применения формул (1) и (2) для расчета значений β и τ_p . Из этого рисунка видно, что при напряжении 200 мВ обратный (темновой) ток для варианта с базовой технологией в $\sim 2,5$ раза меньше, чем для варианта с СФО, но при меньших напряжениях отличие уменьшается до двухкратного. Соответственно и расчет значений τ_p показал преимущество базового варианта, для которого $\tau_p \sim 1,5 \times 10^{-9}$ с, а для остальных $\tau_p \sim 1 \times 10^{-9}$ с.

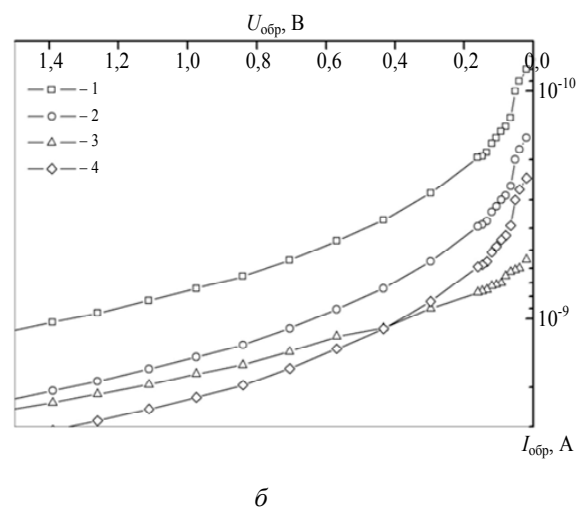


Рис. 1. Прямые (а) и обратные (б) ветви ВАХ фотодиодов с кристаллами, изготовленными по вариантам технологий 1, 2, 3, 4.

Из анализа прямых ветвей ВАХ следует также преимущество базового варианта перед остальными: значение β для него составляет $\sim 1,4$, тогда как для остальных ~ 2 , свидетельствуя о повышенной рекомбинации в ОПЗ p^+-n -переходов этих вариантов.

В табл. 2 представлены рассчитанные типичные значения электрофизических параметров ФД всех вариантов n , β , τ_p и средние значения фотоэлектрических величин $I_{c\text{ ср}}$, $I_{ш\text{ ср}}$, $S_{i\text{ ср}}$, $D^*_{\text{ ср}}$.

Из данных табл. 2 следует, что оба варианта с СФО имеют близкие и наибольшие значения $I_{c\text{ ср}}$ и $S_{i\text{ ср}}$, но и бóльшие значения $I_{ш\text{ ср}}$ по сравнению с базовым и вариантом с уменьшенными энергией и дозой (флюенсом) имплантации и ТО. Однако при этом оба варианта с СФО имеют близкие и на $\sim 4\%$ бóльшие значения $D^*_{\text{ ср}}$, то есть соответственно бóльшие отношения сигнал/шум, чем остальные варианты, в том числе и базовый. Значения $S_{i\text{ ср}}$ для этих вариантов также превосходят базовый вариант на $\sim 8\%$.

Таблица 2

Типичные значения электрофизических и средние значения фотоэлектрических параметров ФД, изготовленных по вариантам технологий 1, 2, 3, 4

№ варианта технологии	n	β	$\tau_p \times 10^9$ с	$I_{c\text{ ср}}$, нА	$I_{ш\text{ ср}}$, пА	$S_{i\text{ ср}}$, А/Вт	$D^*_{\text{ ср}}$, 10^{-10} Вт $^{-1}$ Гц $^{1/2}$ см
1	0,5	1,4	1,5	0,73	4,4	0,34	9,1
2	0,5	2,0	1,0	0,65	4,2	0,31	8,5
3	0,5	2,0	1,0	0,8	4,6	0,37	9,5
4	0,5	2,0	1,0	0,79	4,5	0,37	9,4

На рис. 2 представлены ОСЧ ФД с кристаллами всех вариантов технологии. Из этих данных следует, что варианты 2 (с ТО) и 4 (с СФО) имеют расширенную в коротковолновую область ОСЧ. Это свидетельствует о более мелких p^+-n -переходах этих вариантов по сравнению с остальными, что дает возможность собирать носители, созданные излучением ближе к поверхности кристалла и таким образом повысить значение $S_{i\text{ ср}}$. Однако это действительно имеет место только в случае применения СФО, когда значение $S_{i\text{ ср}}$ является наибольшим. В случае варианта 2, когда атомы бериллия имплантированы на меньшую глубину, чем в базовой технологии, несмотря на аналогичные условия отжига этих вариантов (ТО), последний оказался наименее эффективным в варианте 2, приведя к наименьшему значению $S_{i\text{ ср}}$, скорее всего, из-за влияния поверхности.

Последовательные СФО и ТО (вариант 3) дали самое слабое расширение ОСЧ в коротковолновую область по сравнению с базовым вариантом, хотя по всем параметрам p^+-n -переходов этот вариант соответствует варианту только с СФО. Из этого следует, что последовательные СФО и ТО привели к формированию p^+-n -перехода почти на этой же глубине, что и в случае базовой технологии, но эффективность отжига дефектов в этом случае оказалась выше.

Таким образом, из представленных данных следует, что варианты технологии 3 (с СФО в сочетании с ТО) и 4 (с СФО) позволяют получать аналогичные и лучшие фотоэлектрические параметры по сравнению с базовой технологией. Однако для практического применения следует рекомендовать вариант 4 (с СФО) как наиболее экономичный, безопасный и экологичный.

Заключение

Изучены электрофизические и фотоэлектрические параметры малоразмерных многоплощадочных планарных фотодиодов с кристаллами, изготовленными по четырём вариантам технологии, один из которых – базовая технология на основе двухстадийной имплантации ионов Be^+ с максимальной энергией 100 кэВ. Три другие варианта основаны также на базовой технологии, но при этом имплантация стала одностадийной с энергией ионов 40 кэВ. Отличие вариантов друг от друга заключается в методе применяемого постимплантационного отжига: либо стационарный

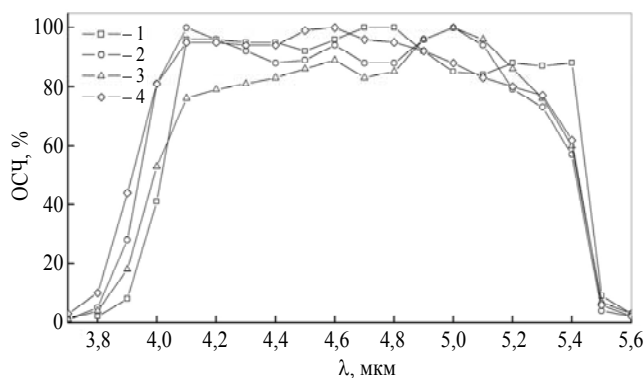


Рис. 2. ОСЧ фотодиодов с кристаллами, изготовленными по вариантам технологий 1, 2, 3, 4.

термический по базовой технологии (ТО), либо секундный фотонный (СФО), либо СФО с последующим ТО. Лучшие и аналогичные результаты получены в двух последних случаях: значения $S_{i\text{cp}}$ на $\sim 8\%$, а D_{cp}^* на $\sim 4\%$ превышают значения, полученные по базовой технологии. Очевидно, что вариант только с СФО следует рекомендовать для практического применения по следующим причинам: имеет место выигрыш по фотоэлектрическим параметрам, и при этом повышаются экономичность, экологичность и безопасность технологии за счет уменьшения числа технологических операций (исключаются нанесение капсулирующей пленки и ее удаление) и неприменения токсичного моносилана и взрывоопасного водорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов В. П., Дудкин В. Ф., Кернер Б. С., Осипов В. В., Смолин О. В., Таубкин И. И. // Микроэлектроника. 1989. Т. 18. Вып. 5. С. 455.
2. Калябина И. А., Крылов Г. А. // Обзоры по электронной технике. Серия 7 ТОПО. 1981. Вып. 12 (8.12) С. 3.
3. Двуреченский А. В., Качурин Г. А., Нидаев Е. В., Смирнов Л. С. Импульсный отжиг полупроводниковых материалов. – М.: Наука, 1982.
4. Итальянцев А. Г., Мордкович В. Н. // Журнал технической физики. 1983. Т. 53. Вып. 5. С. 937.
5. Итальянцев А. Г., Мордкович В. Н., Темпер Э. М. // Физика и техника полупроводников. 1984. Т. 18. Вып. 5. С. 928.
6. Астахов В. П., Дудник В. Я., Итальянцев А. Г., Мордкович В. Н., Струков Ф. В. // Электронная техника. Серия 7 ТОПО. 1988. № 1. С. 34.
7. Афанасьев В. А., Духновский М. П., Калинин М. Н. и др. // Электронная техника. Серия «Электроника СВЧ». 1984. Вып. 12 (372). С. 54.
8. Кориунов А. Б., Генералов Н. А., Зимаков В. Н., Соловьев Н. Г., Аверьянова Т. М., Старикова Л. Е., Астахов В. П., Белотелов С. В., Верин В. М., Зыканова И. В., Камушкин Г. В., Петровнин Н. М., Прохоров В. И., Шестериков С. А., Щербина С. М. Способ отжига ионнолегированных полупроводниковых материалов. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1170926. кл. НОИЛ 21/268, 1979.
9. Курбатов Л. Н., Стоянова И. Г., Трохимчук П. П., Трохин А. С. // Доклады Академии наук СССР. Серия физическая. 1983. Вып. 3. С. 268.
10. Астахов В. П., Данилов Ю. А., Дудник В. Я., Путьримова Е. А. // Физика и химия обработки материалов. 1988. № 1. С. 34.
11. Астахов В. П., Барбой В. Е., Карпов В. В., Можжорин Ю. Д., Ермакова И. М., Овчинников А. С., Пасеков В. Ф., Бузуев Ю. И., Постников И. В., Кориунов А. Б. Способ изготовления p - n -переходов на кристаллах антимонида индия n -типа проводимости. Патент РФ на изобретение RU 2056671 С 1 L 21/265.
12. Астахов В. П., Дудкин В. Д., Ермакова И. М., Карпов В. В., Кориунов А. Б., Пасеков В. Ф. // Вопросы оборонной техники. Серия 11. 1993. Вып. 1–2. /136-237/. С. 18.
13. Астахов В. П., Астахов М. В., Карпов В. В., Якимов Е. Б. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 1. С. 1.
14. Артамонов А. В., Астахов В. П., Карпов В. В., Максимов А. Д. // Вестник МИТХТ. Химия и технология неорганических материалов. 2012. Т. 7. № 3. С. 46.
15. Артамонов А. В., Астахов В. П., Гиндин П. Д., Карпов В. В., Максимов А. Д. Способ изготовления слоев p -типа проводимости на кристаллах InSb. Патент РФ на изобретение, 2013. № 2485629.
16. Шоки В., Нойс Р., Саа К. // Успехи физических наук. 1962. Т. 77. Вып. 3. С. 327.

PACS: 42.70 Hg

Photon annealing at planar photodiodes from indium antimony manufacture

A. V. Artamonov¹, V. P. Astakhov², P. D. Gindin², N. I. Evstaf'eva²,
V. V. Karpov², G. S. Solovyova², and V. E. Stepanyuk³

¹Technological Systems of Defence Covers, SSL
27 16th Parkovaya str., Moscow, 105484, Russia
E-mail: art-bass@mail.ru

²Moskovsky Zavod «SAPFIR», JSC
4A/3A Dnepropetrovskiy passage, Moscow, 117545, Russia
E-mail: ko-ckb@mail.ru

³Orion R&P Association
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received September 7, 2017

Consideration is given to comparison of electrophysical and photoelectrical parameters of littledimensions, manygrounds planar indium antimony photodiodes with crystals produced in united part

frame by 4 technology variants: a base one with application of ions beryllium implantation and 3 others grounded on base technology, but to be differed with a decreased energy of beryllium ions implantation and a type of post-implant annealing. There are the advantages of second photon annealing application in combination with the charged implantation regime in base technology. It will allow to reduce number of technology operations and to except the monosilan and highdrogen use during manufacturing, with prize in integral current sencitivity on ~ 8 % and specific discovery ability on ~ 4 %.

Keywords: second photon annealing, base technology, planar photodiode, indium antimony.

REFERENCES

1. V. P. Astakhov, V. F. Dudkin, B. S. Kerner, B. B. Osipov, O. V. Smolin, and I. I. Taubkin. *Mikroelektroniks* **18** (5), 455 (1989).
2. I. A. Kaljabina and G. A. Krilov. *Obzor Elektron. Tekhniki. Series 7 TOPO*, No. 12 (8.12), 3 (1981).
3. A. V. Dvurechensky, G. A. Kachurin, E. V. Nidaev, and L. S. Smirnov. *Impulse Annealing of Semiconductor Materials*. (Moscow, Nauka, 1982) [in Russian].
4. A. G. Italjancev and V. N. Mordkovich. *Sov. Journal of Technical Physics* **53** (5), 937 (1983).
5. A. G. Italjancev, V. N. Mordkovich, and E. M. Temper. *Sov. Physics and Technics of Semiconductors*. **18**, 928 (1984).
6. V. P. Astakhov, V. Ja. Dudnik, A. G. Italjancev, V. N. Mordkovich, and F. V. Strukov. *Obzor Elektron. Tekhniki. Series 7 TOPO*, No. 1, 34 (1988).
7. V. A. Afanasjev, M. P. Duhnovsky, M. P. Kalinichev, et al., *Electron Technika. Series «SVCh-electronics»*, No. 12 (372), 54 (1984).
8. A. B. Korshunov, N. A. Generalov, V. N. Simakov, et al., USSR Patent No. 1170926. 1979.
9. L. N. Kurbatov, I. G. Stojanova, P. P. Trochimchuk, and A. S. Trochin, *Doklady AN SSSR. Series: Physics* No. 3, 268 (1983).
10. V. P. Astakhov, Ju. A. Danilov, V. Ja. Dudnik, and E. A. Pitirimova, *Fiz. Ghim. Obrab. Mater.*, No. 1, 34 (1988).
11. V. P. Astakhov, V. E. Barboy, V. V. Karpov, et al., RF-Patent No. 2056671, C 1 L 21/265.
12. V. P. Astakhov, V. F. Dudkin, I. M. Ermakova, V. V. Karpov, A. B. Korshunov, and V. F. Pasekov, *Voprosy Oboron. Tekhniki. Series 11*, No. 1-2 /136-237/, 18 (1993).
13. V. P. Astakhov, M. V. Astakhov, V. V. Karpov, and E. B. Jakimov, *J. Surf. Invest.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech.*, No. 1, 1 (2007).
14. A. V. Artamonov, V. P. Astakhov, V. V. Karpov, and A. D. Maksimov, *Vestnik MITChT. Chemistry and Technology of Nonorganic Materials* **7** (3), 46 (2012).
15. A. V. Artamonov, V. P. Astakhov, P. D. Gindin, V. V. Karpov, and A. D. Maksimov, RF Patent No. 2485629. 2013.
16. V. Shokli, R. Nois, and K. Saa, *Sov. Phys. Usp.* **77** (3), 327 (1962).