

УДК 62.315.5

PACS: 07.07.Df, 07.57.-с, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Влияние параметров мезаструктуры на дефектность матричных фотоприемных устройств на основе антимионид индия

А. Н. Гришина, П. В. Власов, В. В. Ерошенков, А. А. Лопухин

Проведено исследование влияния параметров мезаструктуры на дефектность матричных фотоприемных устройств на основе антимионид индия на область спектра 3÷5 мкм формата 320×256 элементов с шагом 30 мкм. Получены зависимости одноточечной дефектности и «стойкости» (стабильности токов р–п-переходов в диапазоне рабочих обратных напряжений смещения) от скорости травления антимионид индия, глубины мезаструктур и расстояния между ними в МФЧЭ (матричных фоточувствительных элементах). Определены оптимальные величины указанных параметров мезаструктур. Определен оптимальный угол наклона стенок мезаструктуры – не более 38 градусов. Количество единичных дефектных фотодиодов составило 0,1–0,6 %.

Ключевые слова: антимионид индия, МФПУ, мезаструктура, дефектность.

Введение

Матричные фотоприемные устройства (МФПУ) на основе антимионид индия (InSb) находят широкое применение в тепловизионных и тепловизионных системах, работающих в средневолновом ИК-диапазоне [1]. В АО «НПО «Орион» разработаны и серийно выпускаются матричные фотоприемные устройства на основе антимионид индия формата 320×256 элементов с шагом 30 мкм [2] и формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм [3].

В работе [4] было установлено, что основными причинами возникновения фотодиодов с токами утечки являются: плотность дислокаций исходных слитков антимионид индия, качество обработки пластин после резки слитков и погрешности технологии изготовления МФЧЭ (вследствие чего, как правило, образуются дефектные кластеры), включая технологию травления мезы.

Целью данной работы являлось исследование влияния операции изготовления р–п-перехода по мезатехнологии на дефектность.

Результаты исследования

Для оценки дефектности матрицы гибридизировались индиевыми микроконтактами с БИС считывания формата 320×256 элементов [5, 6]. Фотоэлектрические характеристики полученных матричных фотоприемников были измерены при температуре 77 К.

В качестве критерия уровня дефектности выбрано, во-первых, количество единичных дефектных фотодиодов с токами утечки. На изображении без коррекции (при положительном контрасте) они выглядят как белые точки. Под единичными подразумеваются те элементы, которые не сгруппированы в дефектные кластеры. Вторая характеристика дефектности связана с тем, как элементы держат обратное напряжение смещения [7, 8]. Эта характеристика определяет «стойкость» фотодиодов. При оптимальном обратном напряжении плотность дефектов на различных пластинах может оказаться приблизительно одинаковой. Однако деградация отдельных диодов начинает проявляться уже при незначительном увеличении обратного напряжения от рабочего значения. В действительности уже при рабочем смещении часть этих элементов по жесткому критерию являются дефектными.

Гришина Анна Николаевна, инженер.
Власов Павел Валентинович, ведущий инженер.
Ерошенков Владимир Владимирович, инженер 1 кат.
Лопухин Алексей Алексеевич, начальник участка измерений НТК.
АО «НПО «Орион».
Россия, Москва, 111538, ул. Косинская, 9.
Тел.: (499) 374-94-00, 374-94-01. Факс (499) 373-68-62.
E-mail: orion@orion-ir.ru

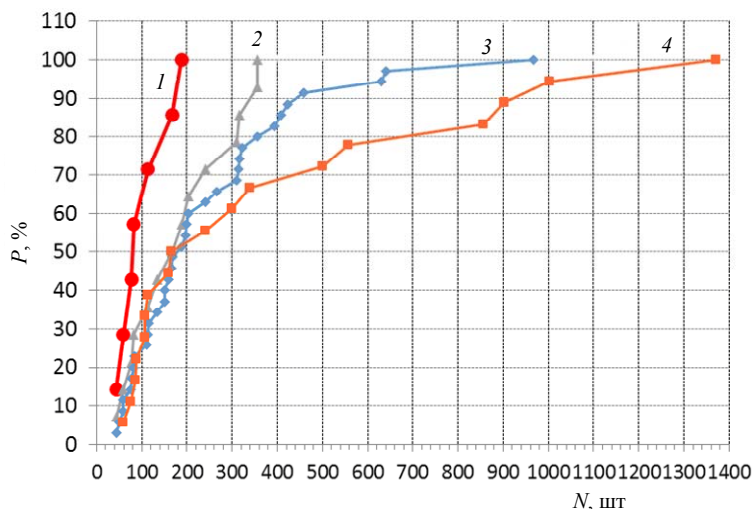
Статья поступила в редакцию 15 декабря 2016 г.

© Гришина А. Н., Власов П. В., Ерошенков В. В., Лопухин А. А., 2017

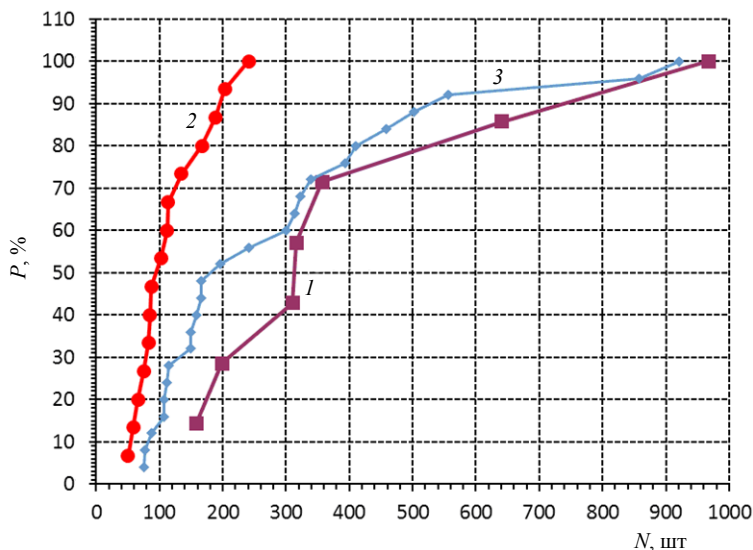
Из набора статистических данных были выявлены диапазоны с характерными отличиями, для которых построены интегральные функции распределения параметров, характеризующих дефектность в зависимости от параметров формирования мезаструктуры.

На рис. 1, а приведены интегральные функции распределения точечной дефектности по различным диапазонам глубин мезы. Для сравнения выбрано четыре диапазона, по которым средняя дефектность монотонно возрастает, свидетельст-

вующая о наличии некоторой зависимости дефектности от глубины. Вместе с тем, в промежутке до 100–150 одноточечных дефектов располагается по 50 % МФЧЭ из каждого диапазона. Это стабильное число определяется другими дефектами, на которые глубина мезы не влияет, например, исходной дефектностью материала. На рис. 1, б представлено три различных диапазона скоростей травления. Примечательно, что слишком низкая скорость травления приводит к большей дефектности структур, чем повышенная.



а



б

Рис. 1. Интегральные функции распределения МФЧЭ (P %) по количеству одноточечных дефектов N для различных диапазонов технологических процессов: а) по глубине мезы: 1 – 0,58 (0,55–0,6) мкм (≤ 107 деф.), 2 – 0,60 (0,54–0,69) мкм (≤ 173 деф.), 3 – 0,67 (0,4–0,85) мкм (≤ 209 деф.), 4 – 0,95 (0,86–1,3) мкм (≤ 400 деф.); б) по скоростям травления: 1 – 1,85 (1,5–2,05) мкм/мин (≤ 421 деф.), 2 – 2,38 (2,06–2,73) мкм/мин (≤ 118 деф.), 3 – 3,36 (2,8–5,5) мкм/мин (≤ 291 деф.).

Из представленных на рис. 1 а, б данных следует, что оптимальным, с точки зрения одноточечной дефектности, является диапазон глубины травления мезаструктуры 0,55–0,60 мкм и скорость травления 2,06–2,73 мкм/мин.

Уровень «стойкости» определен качественно из многочисленных экспериментов по системе от 2 до 5, где при оценке «5» точки не нарастают, «2» – практически мгновенное нарастание количества дефектных элементов при увеличении обрат-

ного смещения, т.е. это явный брак МФПУ. Рис. 2, а выделяет глубину около 0,62 мкм, которая является вдвое большей, чем глубина p - n -перехода. На рис. 2, б приведены интегральные функции распределения «стойкости» к $U_{обр}$ в точках по раз-

личным диапазонам скоростей травления мезы. Важно отметить, что в диапазоне скоростей 2,05–2,81 мкм/мин полностью отсутствуют МФЧЭ с низким уровнем «стойкости», что позволяет определить оптимальную скорость травления.

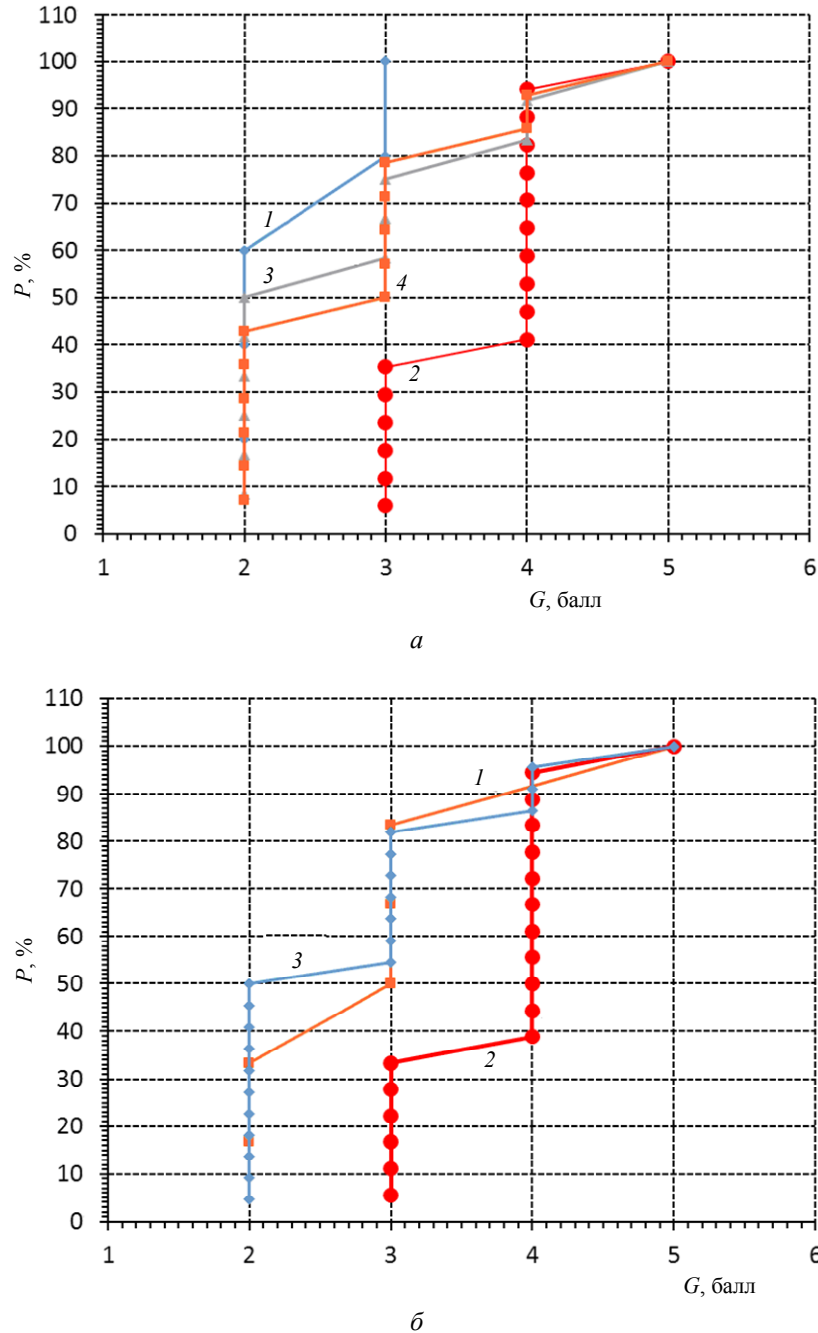


Рис. 2. Интегральные функции распределения МФЧЭ (P %) по «стойкости» G к $U_{обр}$ в точках для различных диапазонов технологических процессов: а) по глубине мезы: 1 – 0,46 (0,4–0,5) мкм ($\langle \Rightarrow = 2,4$), 2 – 0,62 (0,54–0,7) мкм ($\langle \Rightarrow = 3,8$), 3 – 0,79 (0,75–0,85) мкм ($\langle \Rightarrow = 2,8$), 4 – 0,96 (0,86–1,3) мкм ($\langle \Rightarrow = 2,9$); б) по скоростям травления мезы: 1 – 1,81 (1,5–2,03) мкм/мин ($\langle \Rightarrow = 3,0$), 2 – 2,41 (2,05–2,81) мкм/мин ($\langle \Rightarrow = 3,7$), 3 – 3,42 (2,83–5,5) мкм/мин ($\langle \Rightarrow = 2,7$).

Исследование зависимости дефектности от величины угла стенок протравленной мезы сужает этот диапазон до 2,05–2,6 мкм/мин. Это связано с тем, что большая скорость приводит к увеличению

угла. Угол, в свою очередь, резко влияет на точечную дефектность МФЧЭ (см. рис. 3). Видно, что увеличение угла стенок протравленной мезы приводит к возрастанию дефектности.

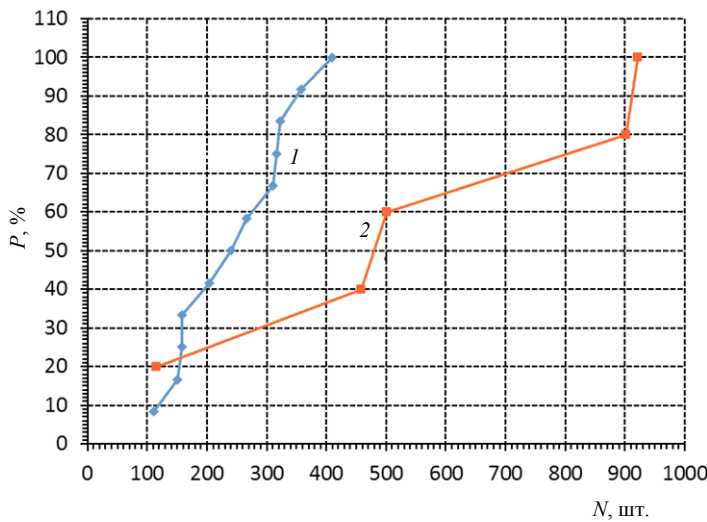
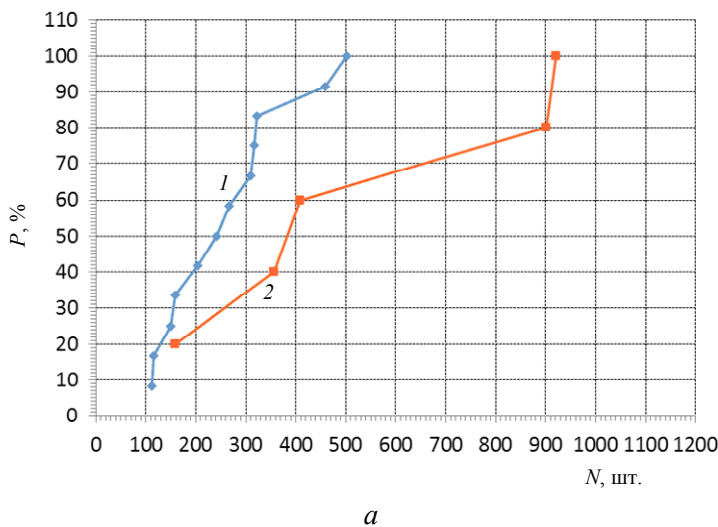


Рис. 3. Интегральные функции распределения МФЧЭ (P %) по количеству одноточечных дефектов N для различных диапазонов углов стенок протравленной мезы: 1 – 33,5 (28–38) град ($\langle \rangle = 250$ деф.), 2 – 42,3 (39–45) град ($\langle \rangle = 580$ деф.).

Исследованы также влияние расстояния между мезаструктурами на дефектность МФЧЭ и на их «стойкость», что отражено на рис. 4 а, б.

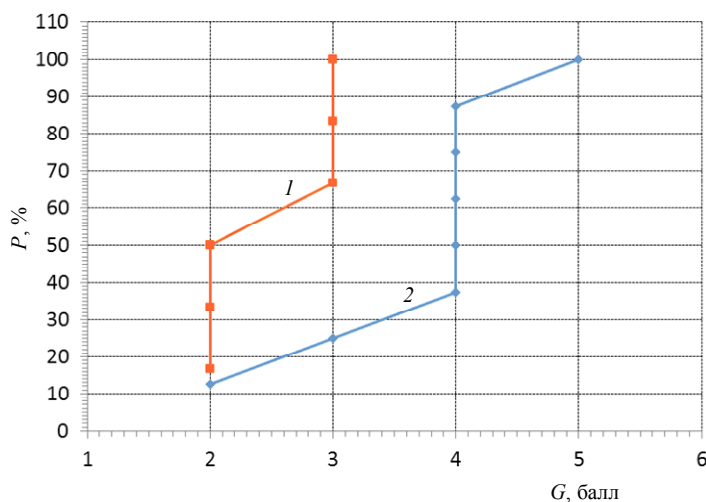
Из распределений (рис. 4) видно, что, во-первых, одноточечная дефектность увеличивается при более широком расстоянии между мезаструк-

турами (см. рис. 4 а), и, во-вторых, «стойкость» уменьшается с увеличением этого расстояния, что может быть связано с возрастанием границы n-области. Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальное расстояние между мезаструктурами находится в диапазоне 4,9–6,2 мкм.



а

Рис. 4. Интегральные функции распределения МФЧЭ (P %): а) по количеству одноточечных дефектов N для различных диапазонов расстояний между мезаструктурами на глубине р-п-перехода: 1 – 5,9 (4,9–6,4) мкм ($\langle \rangle = 263$ деф.), 2 – 6,6 (6,4–6,9) мкм ($\langle \rangle = 550$ деф.);



б

б) по «стойкости» к $U_{обр.}$ в точках для различных расстояний между мезаструктурами на глубине р-п-перехода: 1 – 6,6 (6,4–6,9) мкм ($\langle \rangle = 2,5$), 2 – 5,8 (4,9–6,2) мкм ($\langle \rangle = 3,8$).

Заключение

В работе исследованы зависимости параметров дефектности от угла наклона стенок мезаструктуры, расстояния между мезаструктурами на границе p - n -перехода, скорости её травления, глубины мезаструктуры. По результатам исследований определены оптимальные параметры формирования мезаструктуры:

- глубина мезы должна находиться в диапазоне 0,55–0,6 мкм;
- оптимальное расстояние между мезаструктурами располагается в диапазоне 4,9–6,2 мкм;
- увеличение угла наклона стенок мезаструктуры приводит к увеличению дефектности и угол должен быть ограничен 38 градусами;
- оптимальный диапазон скоростей травления мезы составляет 2,05–2,6 мкм/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. Фотоприемники в оптико-электронных приборах и системах. – М.: Физматкнига, 2016.
2. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А., Полунеев В. В., Рябова А. А. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 6. С. 733.
3. Балиев Д. Л., Болтарь К. О., Власов П. В., Киселева Л. В., Ложников В. Е., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г., Полунеев В. В., Рудневский В. С., Савостин А. В. // Прикладная физика. 2014. № 2. С. 41.
4. Болтарь К. О., Власов П. В., Ерошенков В. В., Лопухин А. А. // Прикладная физика. 2014. № 4. С. 45.
5. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А., Савостин А. В. Патент РФ № 2460174. 2012. Способ изготовления матричного фотоприемника (варианты)
6. Иродов Н.А., Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А. // Прикладная физика. 2016. № 5. С. 51.
7. Michael S. Adler, Victor A.K. Temple // IEEE Transaction QN Electron Devices. 1978. Vol. ED-25, No. 10.
8. Victor A.K. Temple, Michael S. Adler // IEEE Transaction QN Electron Devices. 1977. Vol. ED-24, No. 8.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

The influence of mesa parameters on InSb FPA defects

A. N. Grishina, P. V. Vlasov, V. V. Eroshenkov, and A. A. Lopukhin

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

Received December 15, 2016

The Influence of mesa parameters on InSb FPA 320x256 defects are investigated. Dependences of one-point defects and p - n junction currents stability of the FPA from a velocity, depth of etching and distance between mesa structures InSb are obtained.

Ключевые слова: InSb, mesa structure, defects.

REFERENCES

1. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, Photodetectors in Optical-Electronic Devices and Systems (Fizmatkniга, Moscow, 2016) [in Russian].
2. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, et al., Usp. Prikl. Fiz. 1, 733 (2013).
3. D. L. Baliev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, et al., Prikl. Fiz., No. 2, 41 (2014).
4. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, V. V. Eroshenkov, and A. A. Lopukhin, Prikl. Fiz., No. 4, 45 (2014).
5. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, and A. V. Savostin, RF Patent No. 2460174. 2012.
6. N. A. Irodov, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, and A. A. Lopukhin, Prikl. Fiz., No. 5, 51 (2016).
7. Michael S. Adler, Victor A. K. Temple // IEEE Transaction QN Electron Devices. 1978. Vol. ED-25, No. 10.
8. Victor A. K. Temple, Michael S. Adler // IEEE Transaction QN Electron Devices. 1977. Vol. ED-24, No. 8.