

УДК 538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР GaInAsP/InP С МАССИВОМ НАНООСТРОВКОВ InAs

© 2021 г. Д. Л. Алфимова^a, М. Л. Лунина^a, Л. С. Лунина^{a, b, c, *},
А. С. Пашенко^{a, b, c}, О. С. Пашенко^a, М. С. Столяров^c

^aФедеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН,
Ростов-на-Дону, 344006 Россия

^bСеверо-Кавказский федеральный университет,
Ставрополь, 355017 Россия

^cЮжно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Новочеркасск, 346428 Россия

*e-mail: lunin_ls@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Экспериментально показана возможность выращивания массивов наноструктур InAs на поверхности твердых растворов GaInAsP, изопериодных с подложкой InP, методом зонной перекристаллизации градиентом температуры с импульсным охлаждением и нагреванием. Исследована эволюция морфологии наноструктур InAs на поверхности GaInAsP в зависимости от температуры подложки и градиента температуры, а также от времени кристаллизации. Растровая электронная микроскопия и статистический анализ позволили установить, что наибольшая плотность в массиве наноструктур InAs с размерами 35–50 нм. Выполнены измерения фотолюминесценции и показано, что спектры имеют сложную структуру, а излучательная рекомбинация осуществляется через основные состояния в наноструктурах InAs. Большая ширина спектра на половине максимума излучения ($\Delta E = 171$ мэВ) обусловлена разбросом геометрических размеров наноструктур в массиве. Измерения спектров фоточувствительности показали расширение спектрального диапазона в сторону длинных волн для гетероструктур InAs/GaInAsP/InP по сравнению с GaInAsP/InP.

Ключевые слова: зонная перекристаллизация, импульсное охлаждение–нагревание, наноструктуры InAs, поверхность, морфология, многокомпонентные твердые растворы, полупроводники, трехмерный рост, механизм Странского–Крастанова, фотолюминесценция.

DOI: 10.31857/S1028096021120037

ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые гетероструктуры с квантовыми точками привлекают все большее внимание исследователей перспективами создания на их основе новых поколений существующих приборов, например, солнечных батарей третьего поколения с эффективностью более 50%, высокоскоростных фотодетекторов, а также приборов наноэлектроники [1–7].

Для оптоэлектроники приборно-ориентированные гетероструктуры на основе фосфида индия интересны возможностью получения устройств с длиной волны в окнах прозрачности оптического волокна (1.5–1.6 мкм), с рекордным быстродействием и относительно большой шириной пропускания спектра. Следует отметить, что гетероструктуры на основе фосфида индия известны достаточно давно. В последние пять лет большой

интерес исследователей в мире привлекают наногетероструктуры InAs/InP с квантовыми точками в активной области. Актуальность обусловлена возможностью получить лазеры с длиной волны 1.5–1.6 мкм с настройкой по спектру [8–12] и фотодетекторы [13–15] для телекоммуникационных сетей. Такие наногетероструктуры получают методами молекулярно-лучевой и МОС-гидридной эпитаксии (МОС – металлоорганические соединения) [16–18]. На данный момент известно о выращивании указанными методами следующих структур в системе InAs/InP: квантовых точек (наноструктур) [8–16, 19], квантовых нитей [20–24] и квантовых штрихов [17, 25–28]. Как правило, рост осуществляется по механизму Странского–Крастанова, когда наноструктуры образуются после формирования смачивающего слоя [8–16]. Теоретически исследован трехмерный рост наноструктур в гетеросистеме InAs/InP без смачива-

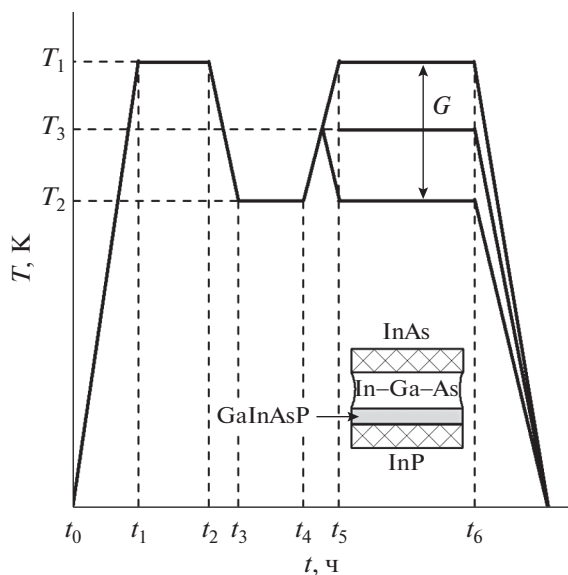


Рис. 1. Температурно-временной режим роста.

ющего слоя [29]. Показано, что в реальных структурах это может подавить расщепление оптически активных экситонных состояний. Однако этот нетривиальный эффект, связанный с удлинением формы, сильно уменьшается из-за случайности сплава в результате смешивания материала квантовых точек InAs с окружающей матрицей InP. Отмечается тенденция к применению твердых растворов InAsSb [17], AlInAs [30], InGaAsP [31] в гетеросистеме InAs/InP. Основной причиной является поиск механизмов снижения упругих напряжений и способов изменения морфологии наноструктур InAs для контроля латерального размера, высоты и плотности массива, что на практике позволяет управлять спектром излучения или поглощения гетероструктур [8, 31].

В настоящей работе предлагается исследовать наноструктуры GaInAsP/InP, содержащие массив наноструктур InAs. Отличие этого исследования от [31] заключается в том, что предлагается выращивать наноструктуры InAs на поверхности твердого раствора GaInAsP без выращивания переходных слоев GaP для согласования с подложкой InP, а синтез твердого раствора и наноструктур осуществлять из жидкой фазы. Преимущество многокомпонентных твердых растворов перед бинарными соединениями заключается в возможности управления параметром кристаллической решетки и шириной запрещенной зоны путем подбора изопериодного состава GaInAsP с подложкой InP. Главной проблемой МОС-гидридного метода выращивания является сложность поддержания соотношения компонентов групп V/III [30], выражающаяся в морфологической эволюции системы и появлении нежелательных капель на поверхности. В этой связи интерес может представлять жидко-

фазная эпитаксия, которая, в принципе, позволяет выращивать квантовые точки [32, 33]. Таким образом, цель настоящей работы заключалась в изучении особенностей формирования массивов наноструктур InAs методом зонной перекристаллизации градиентом температуры (ЗПГТ) на поверхности GaInAsP/InP и исследование эволюции морфологии и спектральных характеристик, выращенных наноструктур.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Выращивание гетероструктур GaInAsP/InP с наноструктурами InAs осуществлялось методом ЗПГТ с импульсным охлаждением и нагреванием композиции “подложка–(раствор-расплав)–источник” [34–36]. Данный способ является усовершенствованной разновидностью классической жидкофазной эпитаксии. Ниже будет описана суть используемого метода ЗПГТ с импульсным охлаждением и нагреванием. Рост проводили в закрытой системе в потоке очищенного водорода. В качестве жидкой зоны использовали раствор-расплав (In–Ga–As–P), подложки – InP(100), источника подпитки – InAs. Для контроля температуры применяли термопары Pt–Pt + Rh(10%). Термопары помещали между подложкой InP и твердотельным источником InAs. Расстояние между верхней и нижней термопарами, определяющими градиент температуры G , составляло 1 см. Температурный режим задавали с помощью блока управления, позволяющего поддерживать в рабочей зоне печи температуру с точностью $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Температурно-временная схема представлена на рис. 1.

За время $t_1 - t_0$ печь нагревалась до температуры гомогенизации $T_1 = 843$ К, после чего в течение времени $t_2 - t_1$ (2 ч) раствор-расплав (In–Ga–As–P) гомогенизировался. Поскольку выращивание в режиме Странского–Крастанова осуществляется через смачивающий слой [1], то для его получения за время $t_3 - t_2$ раствор-расплав охлаждался до температуры $T_2 = 813$ К путем подведения теплопоглотителя на тыльную сторону подложки [37]. Температуру поглотителя выбирали таким образом, чтобы переохлаждение на фронте кристаллизации ΔT не превышало 10 К во избежание гомогенного зародышеобразования в объеме жидкой фазы. Через время $\tau \approx 10^{-2}$ с, определяющее длительность импульса охлаждения подложки, теплопоглотитель принимает температуру подложки T_2 . Эпитаксия наноструктур InAs осуществлялась при градиентах температуры от 10 до 50 К/см и при температурах подложки $T_3 = 853 - 903$ К. Время проведения ЗПГТ $t_6 - t_5$ варьировалось в пределах от нуля до 35 мин. Эксперименты по исследованию эволюции наноструктур InAs проводили при фиксированной температуре под-

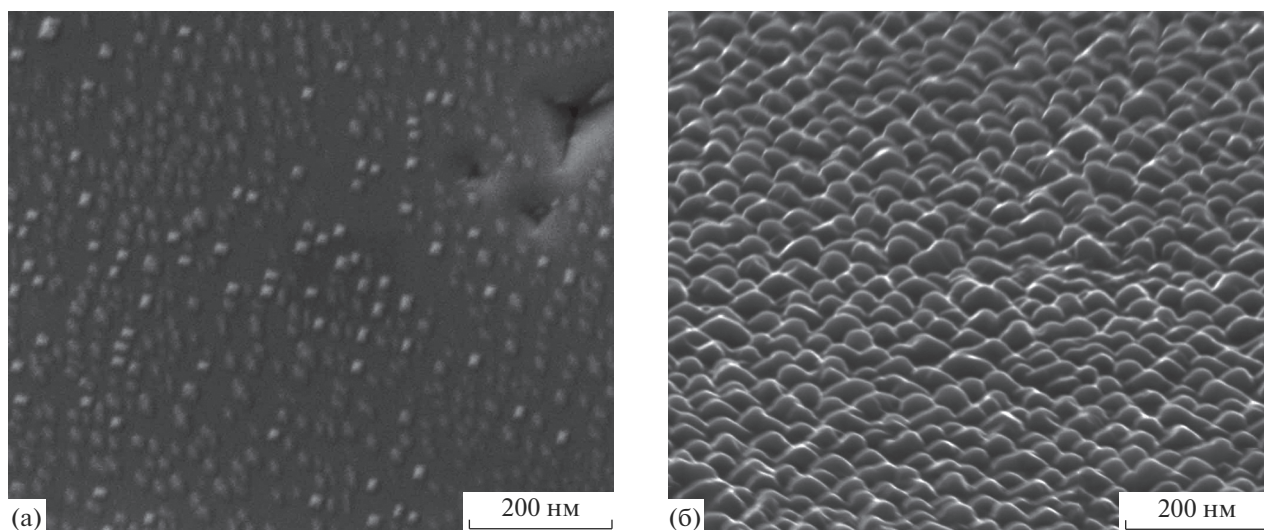


Рис. 2. Эволюция морфологии наностроек InAs в зависимости от времени Δt выращивания методом ЗПГТ с импульсным охлаждением и нагреванием на поверхности GaInAsP/InP: а – 10; б – 35 мин.

ложки $T = 893$ К и градиенте температуры 10 К/см. Во всех экспериментах использовался одинаковый состав твердого раствора $\text{Ga}_{0.10}\text{In}_{0.90}\text{As}_{0.24}\text{P}_{0.76}$.

Исследование морфологии поверхности гетероструктур GaInAsP/InP после осаждения арсенида индия проводили в растровом электронном микроскопе Quanta 200. Высоту наностроек InAs измеряли в атомно-силовом микроскопе Solver HV. Точность определения размеров наностроек для зонда HA_NC с радиусом закругления менее 10 нм определяется величиной $1/\sqrt{h}$, где h – высота объекта. Статистический анализ проводили с использованием программного пакета Image analyses и инструмента Threshold. Фотolumинесценцию гетероструктур исследовали при температуре 300 К в спектральном диапазоне 0.7 – 1.5 эВ. Источником оптического излучения служил инжекционный лазер с длиной волны 402 нм и мощностью излучения 12.5 мВт. Регистрацию сигнала осуществляли с помощью монохроматора МДР-23 с германиевым фотодиодом ФДГ-3600, рабочий спектральный диапазон которого составляет 0.5 – 2 мкм. Фотolumинесценцию возбуждали со стороны наностроек InAs. Защиту входной щели монохроматора от отраженных гармоник возбуждающего лазерного излучения осуществляли с помощью оптического фильтра ЖС-12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 приведены результаты анализа эволюции морфологии InAs на поверхности GaInAsP/InP. Видно, как изменяется морфология поверхности в зависимости от времени осаждения ростового материала InAs. Данные рис. 2а соот-

ветствуют температурно-временному режиму $t_6 - t_2$ ЗПГТ с импульсным охлаждением и нагреванием (рис. 1). За время импульсного охлаждения $\tau = 2$ мин на поверхности твердого раствора GaInAsP происходила вынужденная кристаллизация смачивающего слоя. Его осаждение осуществлялось в температурно-временном интервале $t_4 - t_3$. За промежутки времени $t_5 - t_4$ устанавливался градиент температуры, вызывающий процесс растворения источника InAs и его перенос к поверхности слоя GaInAsP (рис. 1, вставка). Во временном промежутке $t_6 - t_5$ происходил трехмерный островковый рост InAs в соответствии с механизмом Странского–Крастанова.

Если по истечении времени $t_6 - t_5$ не прекратить осаждение InAs, то процесс роста сопровождается эволюцией морфологии поверхности за счет изменения формы наностроек и их превращения в крупные кластеры (рис. 2б). Анализ морфологии поверхности InAs показал, что их плотность в условиях выращивания (рис. 2а) достигает 1.26×10^{10} см $^{-2}$. Статистическое распределение размеров наностроек, соответствующее условиям выращивания (рис. 2а), приведено на рис. 3. Видно, что наибольшая плотность наностроек находится в пределах 27 – 50 нм.

На рис. 4 приведены временные зависимости формирования наностроек. Следует отметить, что размер основания d (кривая 1) в течение 7.5 мин увеличивается незначительно, затем наблюдается резкий подъем и незначительный линейный рост после 20 мин. Высота наностроек (кривая 2) растет линейно со временем. С практической точки зрения важно иметь временную зависимость размера наностроек h/d (кривая 3).

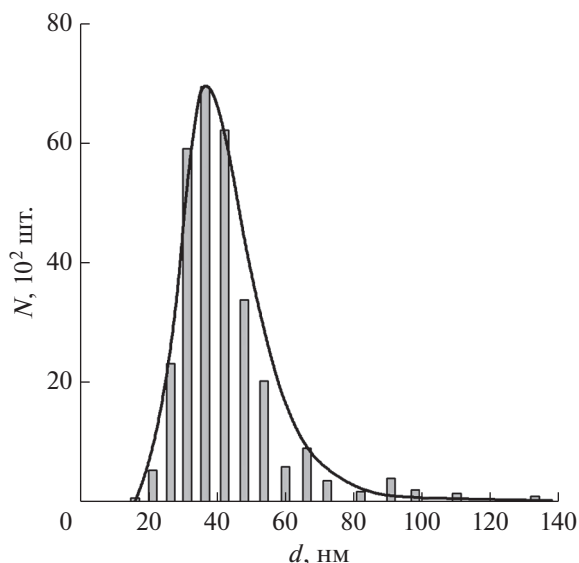


Рис. 3. Гистограмма статистического распределения размеров нанодо́тков InAs на поверхности GaInAsP/InP.

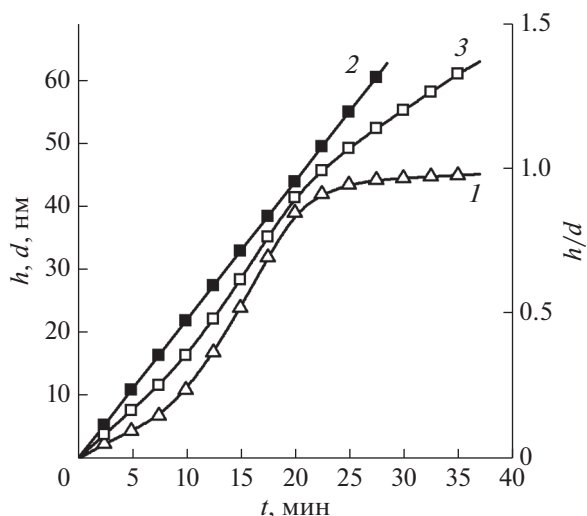


Рис. 4. Временные зависимости эволюции формы нанодо́тков InAs: d (1); h (2); h/d (3). $T = 893$ К, $G = 10$ К/см.

Следующим этапом было исследование влияния температуры процесса и ее градиента на высоту нанодо́тков InAs. Исследование проводилось в температурном диапазоне 850–910 К. Результаты приведены на рис. 5. Повышение температуры приводит к нелинейному увеличению высоты нанодо́тков согласно теории ЗПГТ [34].

Скорость кристаллизации зависит от атомно-кинетических (μ) и диффузионных коэффициентов (D), которые подчиняются экспоненциальной температурной зависимости [33, 34]. Из ранее выполненных экспериментов по жидкофазной эпитаксии и ЗПГТ полупроводниковых соедине-

ний $A_{III}B_V$ известно, что зависимость скорости кристаллизации от градиента температуры линейна аналогично зависимостям $\mu(G)$ и $D(G)$. В результате этого на рис. 5б наблюдается линейная зависимость высоты нанодо́тков от градиента температуры G . При небольших температурах ($T < 893$ К) и малых градиентах ($G < 20$ К/см) скорость кристаллизации нанодо́тков составляет менее 1 мкм/ч. Следует отметить, что при малых скоростях кристаллизации наблюдается малый разброс по размерам и высоте, а также более равномерное расположение на поверхности гетероструктуры.

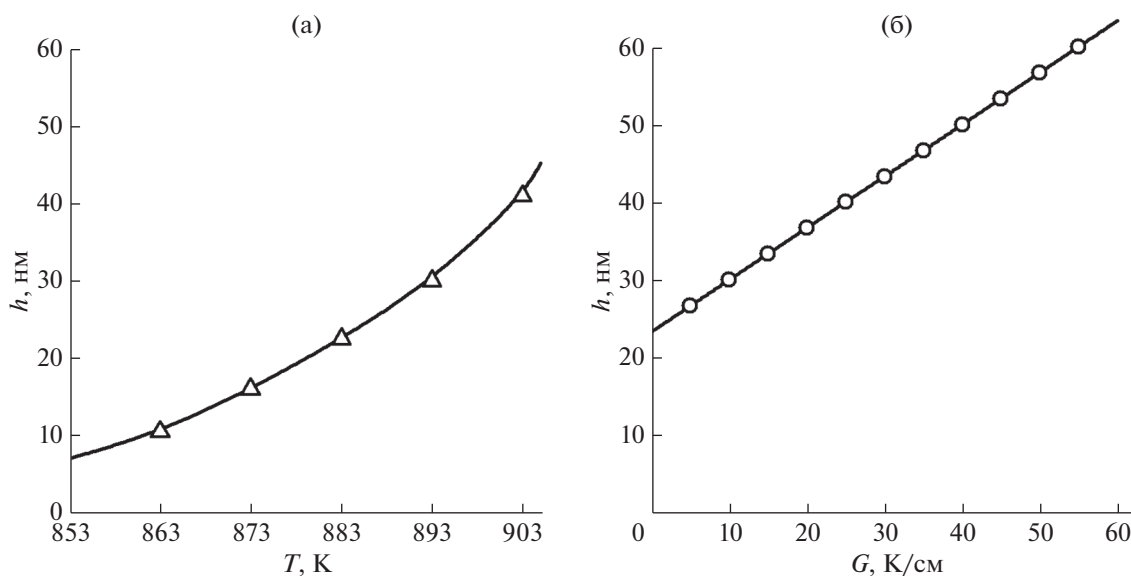


Рис. 5. Зависимость высоты нанодо́тков от температуры процесса (а) и градиента температуры (б).

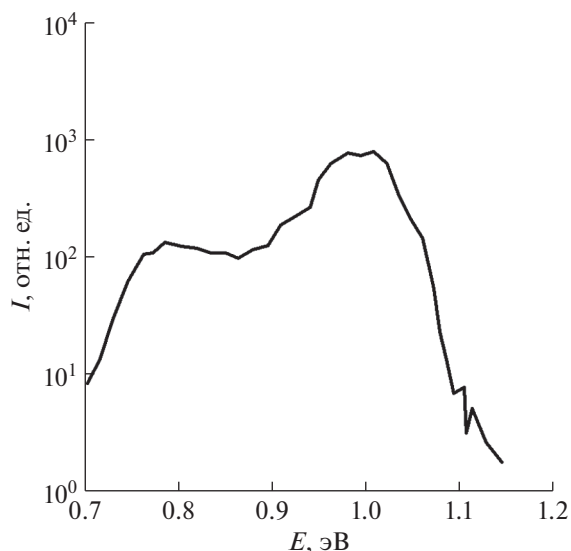


Рис. 6. Характерный спектр фотолюминесценции гетероструктур GaInAsP/InP с массивом наноструктур InAs.

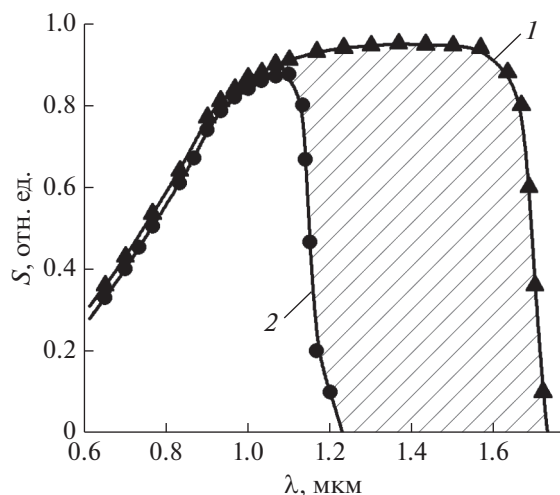


Рис. 7. Спектральные зависимости гетероструктуры: с наноструктурами InAs на поверхности Ga_{0,10}In_{0,90}As_{0,24}P_{0,76}/InP (1); Ga_{0,10}In_{0,90}As_{0,24}P_{0,76}/InP (2).

Для исследования спектральных характеристик гетероструктур GaInAsP/InP с массивом наноструктур InAs были измерены их фотолюминесценция (рис. 6) и спектры fotocувствительности (рис. 7). Спектр фотолюминесценции имеет многопиковую структуру с наиболее ярким максимумом излучения $E \approx 1.0$ эВ. Анализ показывает, что этот пик обусловлен процессом рекомбинации через основные состояния в наноструктурах InAs. Пик широкий (ширина на половине максимума излучения $\Delta E = 171$ мэВ), его форма

определяется в большей степени разбросом геометрических размеров наноструктур, их плотностью и температурой измерения фотолюминесценции. Низкоинтенсивный пик при 1.1 эВ определяется наличием смачивающего слоя.

Спектральная зависимость fotocувствительности выращенных гетероструктур GaInAsP/InP с массивом наноструктур InAs представлена на рис. 7 (кривая 1). Для сравнения приведена спектральная характеристика структуры GaInAsP/InP без наноструктур InAs (рис. 7, кривая 2). Видно, что наноструктуры InAs поверхности твердого раствора GaInAsP приводят к расширению спектрального диапазона чувствительности за счет образования дополнительных энергетических подзон наноструктурами InAs (рис. 7, заштрихованная область).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод зонной перекристаллизации градиентом температуры с использованием импульсного охлаждения–нагрева позволяет получить массивы наноструктур InAs на поверхности твердого раствора GaInAsP, изопериодного с InP. В результате экспериментальных исследований выявлено влияние технологических условий (температуры, ее градиента и продолжительности ростового процесса ЗПГТ с импульсным охлаждением и нагреванием) на эволюцию кристаллизации наноструктур (морфологию поверхности, латеральные размеры, высоту). Установлено, что в гетероструктурах GaInAsP/InP с наноструктурами InAs существенно расширяется спектральная чувствительность по сравнению с аналогичной структурой без наноразмерных островков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ЮНЦ РАН № 01201354240, а также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-08-00108А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yoffe A.D. // Adv. Phys. 2001. V. 50. № 1. P. 1. <https://doi.org/10.1080/00018730010006608>
2. Cuadra L., Marti A., Lopez N., Luque A. Intermediate Band Photovoltaics Overview // 3rd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion. 2003. Osaka: Japan. P. 3.
3. Lunin L.S., Sysoev I.A., Bavizhev M.D., Kuleshov D.S., Malyavin F.F. // Crystallogr. Rep. 2013. V. 58. P. 509. <https://doi.org/10.1134/S1063774513030127>
4. Song H.Z., Hadi M., Zheng Y., Shen B., Zhang L., Ren Z., Gao R., Wang Z.M. // Nanoscale Res. Lett. 2017. V. 12. P. 128. <https://doi.org/10.1186/s11671-017-1898-y>

5. Schättiger F., Bauer D., Demsar J., Dekorsy T., Kleinbauer J., Sutter D.H., Puustinen J., Guina M. // *Appl. Phys. B*. 2012. V. 106. P. 605.
<https://doi.org/10.1007/s00340-011-4697-7>
6. Nikhil J., Mantu K.H. // *Energy Harvesting and Systems*. 2014. V. 1. № 3–4. P. 121.
<https://doi.org/10.1515/ehs-2014-0012>
7. Levin R.V., Marichev A.E., Shvarts M.Z., Marukhina E.P., Khvostikov V.P., Pushnyi B.V., Mizerov M.N., Andreev V.M. // *Semiconductors*. 2015. V. 49. № 5. P. 700.
<https://doi.org/10.1134/S1063782615050139>
8. Nechay K., Mereuta A., Paranthoen C., Brévalle G., Levallois C., Alouini M., Chevalier N., Perrin M., Suruceanu G., Caliman A., Guina M., Kapon E. // *Appl. Phys. Lett.* 2019. V. 115. № 17. P. 171105.
<https://doi.org/10.1063/1.5125632>
9. Khanonkin I., Mishra A.K., Karni O., Banyoudeh S., Schnabel F., Sichkovskiy V., Mikhelashvili V., Reithmaier J.P., Eisenstein G. // *Phys. Rev. B*. 2018. V. 97. P. 241117(R).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.97.241117>
10. Holewa P., Gawętczyk M., Ciostek C., Wyborski P., Kadkhodazadeh S., Semenova E., Syperek M. // *Phys. Rev. B*. 2020. V. 101. P. 195304.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.195304>
11. Mikhelashvili V., Eyal O., Khanonkin I., Banyoudeh S., Sichkovskiy V., Reithmaier J.P., Eisenstein G. // *J. Appl. Phys.* 2018. V. 124. P. 054501.
<https://doi.org/10.1063/1.5037961>
12. Liu L., Liu Yg., Zhang Xm., Liu B., Zhang X. // *Optoelectronics Lett.* 2020. V. 16. P. 441.
<https://doi.org/10.1007/s11801-020-0016-z>
13. Jiao Yu., Tilma B.W., Kotani J., Nötzel R., Smit M.K., He S., Bente E.A.J.M. // *Opt. Express*. 2012. V. 20. № 4. P. 3675.
<https://doi.org/10.1364/OE.20.003675>
14. Tsao S., Myzaferi A., Razeghi M. // *Proceed. SPIE*. 2010. V. 7605. P. 76050J.
<https://doi.org/10.1117/12.846252>
15. Alvarenga D.R., Parra-Murillo C.A., Kawabata R.M.S., Guimaraes P.S.S., Unterrainer K., Pires M.P., Vieira G.S., Villas-Boas J.M., Maialle M.Z., Degani M.H., Farinas P.F., Studart N., Souza P.L. // *IEEE J. Quantum Electronics*. 2012. V. 48. № 10. P. 1360.
<https://doi.org/10.1109/JQE.2012.2210539>
16. Hasan S., Merckling C., Pantouvaki M., Meersschaut J., Van Campenhout J., Vandervorst W. // *J. Cryst. Growth*. 2019. V. 509. P. 133.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2018.11.014>
17. Wang D.B., Zhuo N., Luo S., Zhang J.C., Zhai S.Q., Wang L.J., Liu F.Q., Liu J.Q., Liu S.M., Wang Z.G. // *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2018. V. 18. № 11. P. 7387.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2018.16068>
18. Sala E.M., Na Y.I., Godsland M., Trapalis A., Hefferman J. // *Physica Stat. Solidi*. 2020. V. 14. № 8. P. 2000173.
<https://doi.org/10.1002/pssr.202000173>
19. Liu L., Zhang X.P., Xu T.F., Dai Z.X., Dai S.X., Liu T.J. // *Opt. Lett.* 2017. V. 42. № 6. P. 1173.
<https://doi.org/10.1364/OL.42.001173>
20. Gamo H., Tomioka K. // *IEEE Electron Device Lett.* 2020. V. 41. № 8. P. 1169.
<https://doi.org/10.1109/LED.2020.3004157>
21. Chen I.J., Limpert S., Metaferia W., Thelander C., Samuelson L., Capasso F., Burke A.M., Linke H. // *Nano Lett.* 2020. V. 20. № 6. P. 4064.
<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b04873>
22. Zielinski M. // *Phys. Rev. B*. 2020. V. 101. № 19. P. 195302.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.195302>
23. Arif O., Zannier V., Li A., Rossi F., Ercolani D., Beltram F., Sorba L. // *Cryst. Growth Design*. 2020. V. 20. № 2. P. 1088.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b01421>
24. Cygorek M., Korkusinski M., Hawrylak P. // *Phys. Rev. B*. 2020. V. 101. № 7. P. 075307.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.075307>
25. Dong B., Duan J., Shang C., Huang H., Sawadogo A.B., Jung D., Wan Y., Bowers J.E., Grillo F. // *Appl. Phys. Lett.* 2019. V. 115. № 9. P. 091101.
<https://doi.org/10.1063/1.5110768>
26. Alkhazraji E., Alias M.S., Qureshi K.K., Khan M.Z.M. // *Opt. Engin.* 2020. V. 59. № 9. P. 096102.
<https://doi.org/10.1117/1.OE.59.9.096102>
27. Mao Y.X., Lu Z.G., Liu J.R., Poole P.J., Liu G.C. // *J. Lightwave Technol.* 2020. V. 38. № 17. P. 4787.
<https://doi.org/10.1109/JLT.2020.2996424>
28. Alkhazraji E., Ragheb A., Tareq Q., Esmail M.A., Fathallah H., Alshebeili S., Khan M.Z.M. // *Opt. Commun.* 2019. V. 452. P. 355.
<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.07.062>
29. Zielinski M. // *Sci. Rep.* 2020. V. 10. № 1. P. 13542.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-70156-1>
30. Gocalinska A.M., Mura E.E., Manganaro M., Juska G., Dimastrodonato V., Thomas K., Zangwill A., Vvedensky D.D., Pelucchi E. // *Phys. Rev. B*. V. 101. № 16. P. 165310.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.165310>
31. Huang F.J., Xiong Y.L., Zhang X.P. // *J. Appl. Phys.* 2020. V. 127. № 12. P. 125702.
<https://doi.org/10.1063/1.5132965>
32. Марончук И.Е., Кулюткина Т.Ф., Марончук И.И., Бьковский С.Ю. // *Nanosystems, Nanomater., Nanotechnol.* 2012. V. 10. № 1. P. 77.
33. Sokura L.A., Parkhomenko Y.A., Moiseev K.D., Nevedomsky V.N., Bert N.A. // *Semiconductors*. 2017. V. 51. P. 1101.
<https://doi.org/10.1134/S1063782617080310>
34. Лозовский В.Н., Лунин Л.С., Попов В.П. Зонная перекристаллизация градиентом температуры полупроводниковых материалов. М.: Металлургия, 1987. 232 с.
35. Lunina M.L., Lunin L.S., Alfimova D.L., Pashchenko A.S., Danilina E.M., Pashchenko O.S. // *Thin Solid Films*. 2020. V. 711. P. 138295.
<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138295>
36. Кулюткина Т.Ф., Марончук И.Е., Шорохов А.В. // *Письма в журн. тех. физики*. 1995. Т. 21. № 20. С. 1.
37. Blagin A.V., Barannik A.A., Lunin L.S., Lunina M.L., Maronchuk I.E., Kulyutkina T.F. // *Inorg. Mater.* 2009. V. 45. № 12. P. 1326.
<https://doi.org/10.1134/S0020168509120024>

Study of GaInAsP/InP Heterostructures with an Array of InAs Nanoislands

D. L. Alfimova¹, M. L. Lunina¹, L. S. Lunin^{1, 2, 3, *}, A. S. Pashchenko^{1, 2, 3},
O. S. Pashchenko¹, M. S. Stolyarov³

¹*Federal Research Centre the Southern Scientific Centre RAS, Rostov-on-Don, 344006 Russia*

²*North-Caucasus Federal University, Stavropol, 355017 Russia*

³*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, 346428 Russia*

**e-mail: lunin_ls@mail.ru*

The possibility of growing arrays of InAs nanoislands on the surface of GaInAsP solid solutions, isoperiodic with an InP substrate, by the method of zone recrystallization with a temperature gradient with pulsed cooling and heating, has been experimentally demonstrated. The morphology evolution of InAs nanoislands on the GaInAsP surface is studied as a function of the substrate temperature and temperature gradient, as well as of the crystallization time. Scanning electron microscopy and statistical analysis made it possible to establish that the highest density is in the array of InAs nanoislands with dimensions of 35–50 nm. The photoluminescence measurements have been carried out. It is shown that the spectra have a complex structure, and radiative recombination occurs through the ground states in InAs nanoislands. The large spectral width at half maximum of the radiation ($\Delta E = 171$ meV) is due to scatter in the geometric sizes of the nanoislands in the array. Measurements of the photosensitivity spectra have shown an extension of the spectral range towards longer waves for InAs/GaInAsP/InP heterostructures in comparison with GaInAsP/InP.

Keywords: zone recrystallization, impulse cooling-heating, InAs nanoislands, surface, morphology, multi-component solid solutions, semiconductors, three-dimensional growth, Stransky–Krastanov mechanism, photoluminescence.