



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01L 21/22 (2024.08); B82B 3/0014 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024109551, 09.04.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.04.2024

Дата регистрации:
14.10.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.04.2024

(45) Опубликовано: 14.10.2024 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая
Садовая, 105/42, ЮФУ, Муханов Евгений
Леонидович

(72) Автор(ы):

Черненко Наталия Евгеньевна (RU),
Кириченко Данил Владимирович (RU),
Балакирев Сергей Вячеславович (RU),
Крыжановская Наталья Владимировна (RU),
Солодовник Максим Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Южный федеральный
университет" (RU)

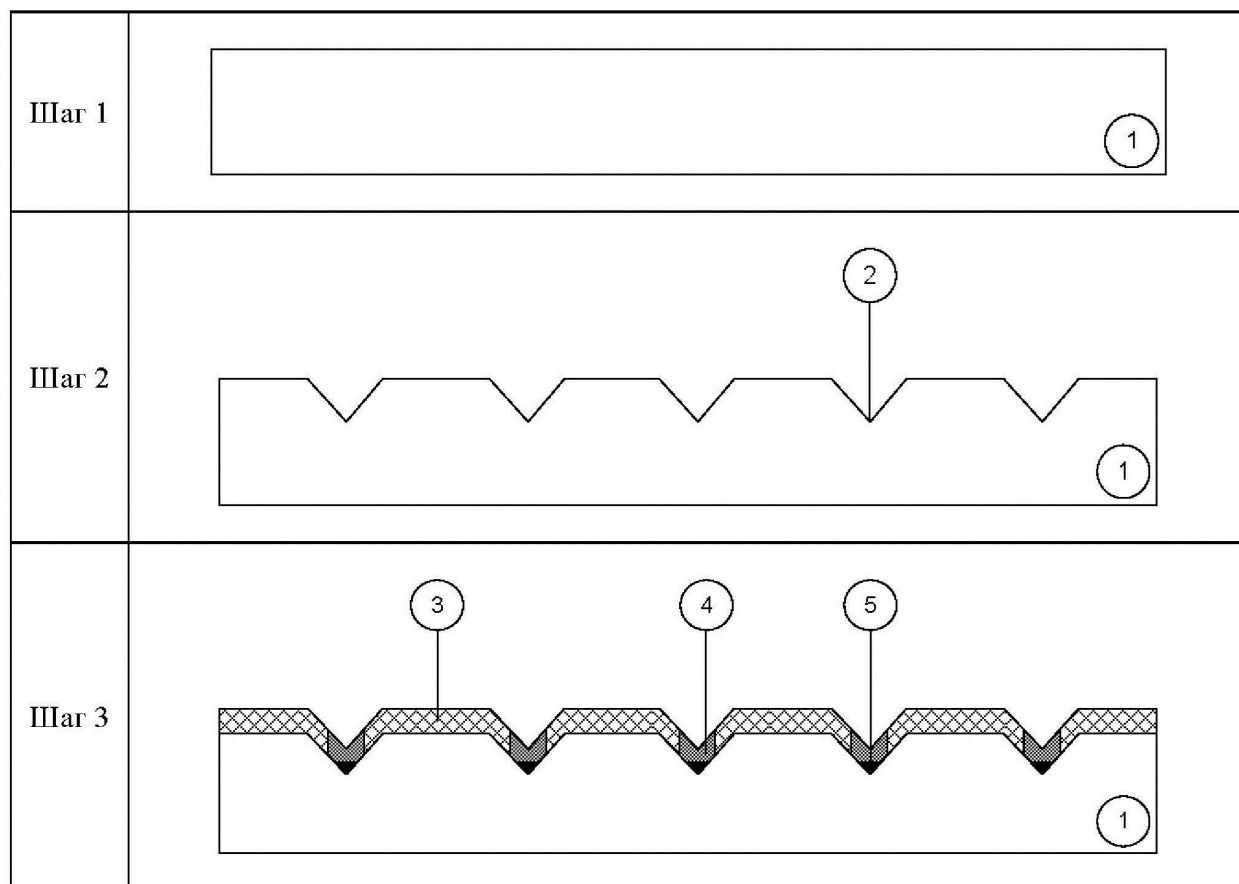
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Лахина Е. А. и др.
ФОРМИРОВАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ
НАНОУГЛУБЛЕНИЙ МЕТОДОМ
ЛОКАЛЬНОГО КАПЕЛЬНОГО
ТРАВЛЕНИЯ ДЛЯ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ
КВАНТОВЫХ ТОЧЕК //
НАНОТЕХНОЛОГИИ. ИНФОРМАЦИЯ.
РАДИОТЕХНИКА (НИР-23). - 2023. - С. 148-
153. RU 2815854 C1, 22.03.2024. RU 2748938 C1,
01.06.2021. CN 103594334 A, 19.02.2014. WO
2006017220 A1, 16.02.2006.

(54) Способ формирования симметричных квантовых точек

(57) Реферат:

Предполагаемый способ относится к области электроники и оптоэлектроники и может быть использован при создании структур активных элементов нано- и оптоэлектроники и интегральных схем на их основе. Способ формирования симметричных квантовых точек заключается в том, что сначала на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100) формируются однородные симметричные углубления в форме перевернутой пирамиды за счет анизотропного локального капельного травления, затем осуществляется селективное формирование квантовых точек

путем осаждения твердого раствора замещения переменного состава $(\text{In}, \text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ на поверхность с углублениями, в результате чего происходит диффузионный распад твердого раствора замещения в углублении за счет различной диффузионной длины компонентов материала квантовой ямы, вследствие чего в углублениях происходит селективное самосогласованное формирование симметричные квантовых точек. Технический результат – формирование симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100). 1 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

H01L 21/22 (2024.08); B82B 3/0014 (2024.08)(21)(22) Application: **2024109551, 09.04.2024**

(24) Effective date for property rights:
09.04.2024

Registration date:
14.10.2024

Priority:

(22) Date of filing: **09.04.2024**(45) Date of publication: **14.10.2024** Bull. № 29

Mail address:

**344006, g. Rostov-na-Donu, ul. Bolshaya Sadovaya,
105/42, YUFU, Mukhanov Evgenij Leonidovich**

(72) Inventor(s):

**Chernenko Nataliia Evgenevna (RU),
Kirichenko Danil Vladimirovich (RU),
Balakirev Sergei Viacheslavovich (RU),
Kryzhanovskaia Natalia Vladimirovna (RU),
Solodovnik Maksim Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Southern
Federal University (RU)**

(54) **METHOD OF FORMING SYMMETRIC QUANTUM DOTS**

(57) Abstract:

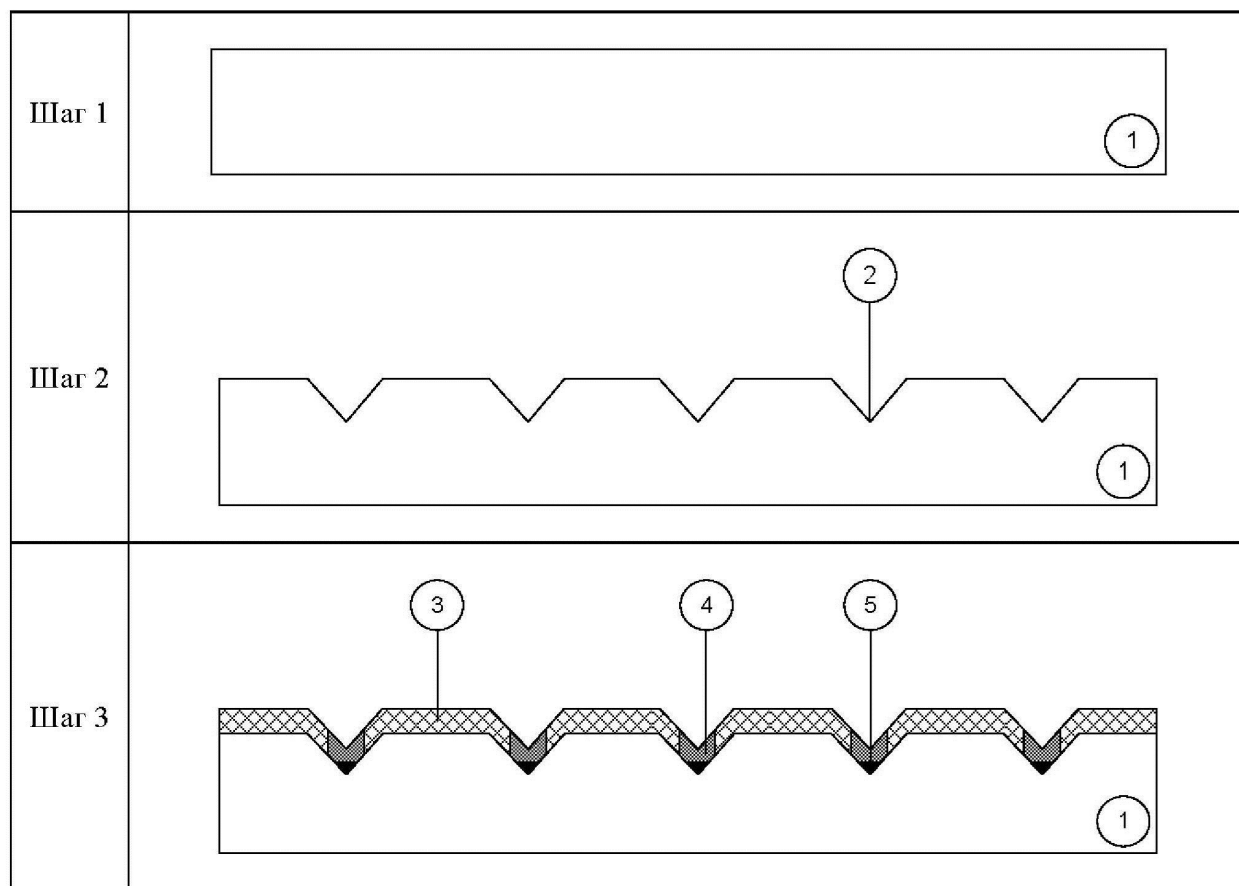
FIELD: electronics; optoelectronics.

SUBSTANCE: proposed method relates to electronics and optoelectronics and can be used to create structures of active elements of nano- and optoelectronics and integrated circuits based thereon. Method of forming symmetric quantum dots consists in the fact that at first on the surface of the semiconductor substrate with technological orientation (100), homogeneous symmetrical recesses in the form of an inverted pyramid are formed due to anisotropic local drop etching, then selective formation of quantum dots is carried out by depositing a solid substitution

solution of variable composition $(\text{In}, \text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ on a surface with recesses, as a result of which there is a diffusion decomposition of the solid substitution solution in the recess due to different diffusion length of the components of the quantum well material, as a result of which in recesses there is selective self-consistent formation of symmetric quantum dots.

EFFECT: formation of symmetric quantum dots on the surface of a semiconductor substrate with technological orientation (100).

1 cl, 1 dwg



ФИГ. 1

Предполагаемый способ относится к области электроники и оптоэлектроники и может быть использован при создании структур активных элементов нано- и оптоэлектроники и интегральных схем на их основе.

Известен аналог заявляемого объекта «Highly Uniform Array of Hexagonally Symmetric Micro-Pyramid Structures for Scalable and Single Quantum Dot Emitters» [Yong-Ho Song, Hwan-Seop Yeo, Chan-Young Sung, Byung Su Kim, Seonghun Ahn, and Yong-Hoon Cho. Highly Uniform Array of Hexagonally Symmetric Micro-Pyramid Structures for Scalable and Single Quantum Dot Emitters // Adv. Mater. Interfaces 2023, Vol. 10, 2202085], содержащий этапы формирования симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки: формирование на полупроводниковой подложке с ориентацией поверхности (0001) методом фотолитографии и последующего жидкостного травления маскирующего слоя с окнами; селективное формирование на поверхности полупроводниковой подложки в окнах маскирующего слоя упорядоченных массивов микропирамид путем эпитаксиального роста полупроводникового материала; осаждение тонкого слоя материала квантовых точек и селективное формирование квантовых точек на вершине усеченной пирамиды за счет локального утолщения слоя вследствие анизотропии скорости роста.

Данный способ позволяет получать симметричные квантовые точки на поверхности полупроводниковой подложки.

Признаками аналога, совпадающими с существенными признаками заявляемого объекта, являются: возможность формирования квантовых точек в твердых растворах переменного состава; формирование симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки; возможность контроля положения квантовых точек.

Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются: формирование квантовых точек за счет утолщения осаждаемого материала, что усложняет контроль размеров квантовых точек и сохранение когерентности их материала с материалом подложки, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на структурном и оптическом качестве материала; использование полупроводниковой подложки с ориентацией (0001), которая является нетехнологичной для роста эпитаксиальных структур; использование методов фотолитографии и жидкостного травления, что приводит к необратимому загрязнению поверхности и образованию дефектов в эпитаксиальных слоях, негативно влияющих на структурное и оптическое качество материала и функциональные характеристики формируемых квантовых точек.

Известен аналог заявляемого объекта «Self-limiting growth of hexagonal and triangular quantum dots on (111)A» [Masafumi Jo, Takaaki Mano, Marco Abbarchi, Takashi Kuroda, Yoshiki Sakuma, and Kazuaki Sakoda. Self-limiting growth of hexagonal and triangular quantum dots on (111)A // Crystal Growth & Design, 2012, Vol. 12, pp. 1411-1415], содержащий этапы формирования симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки: осаждение эпитаксиального буферного слоя на полупроводниковую подложку с ориентацией поверхности (111); формирование металлических капель Ga на поверхности полупроводниковой подложки методом капельной эпитаксии (путем осаждения Ga из паровой фазы в отсутствие потока As), кристаллизация сформированных капель Ga в потоке As и формирование симметричных квантовых точек.

Данный способ позволяет получать симметричные квантовые точки на поверхности полупроводниковой подложки.

Признаками аналога, совпадающими с существенными признаками заявляемого объекта, являются: формирование симметричных квантовых точек на поверхности

полупроводниковой подложки.

Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются: использование полупроводниковой подложки с ориентацией поверхности (111), которая является нетехнологичной для роста эпитаксиальных структур; использование методики
 5 капельной эпитаксии усложняет контроль размеров капель и квантовых точек на их основе, снижая технологическую воспроизводимость и точность; невозможность формирования квантовых точек в твердых растворах переменного состава, что ограничивает диапазон возможных комбинаций материалов и, как следствие, спектральный диапазон квантовых точек.

Из известных аналогов наиболее близким по технической сущности к заявляемому объекту является «Towards 3D characterisation of site-controlled InGaAs pyramidal QDs at the nanoscale» [Kristina M. Holsgrove, Tamsin I. O'Reilly, Simone Varo, Agnieszka Gocalinska, Gediminas Juska, Demie M. Kepaptsoglou, Emanuele Pelucchi, and Miryam Arredondo. Towards
 3D characterisation of site-controlled InGaAs pyramidal QDs at the nanoscale // Journal of
 15 Materials Science, 2022, Vol. 57, pp. 16383-16396], содержащий этапы формирования симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки: формирование на поверхности полупроводниковой подложки с ориентацией поверхности (111) углублений в форме перевернутых пирамид с помощью методов фотолитографии и жидкостного травления; осаждение барьерных слоев на поверхность
 20 полупроводниковой подложки с углублениями; селективное формирование квантовых точек в углублениях путем осаждения тонкого слоя полупроводникового материала за счет локального утолщения слоя вследствие анизотропии скорости роста.

Данный способ позволяет получать симметричные квантовые точки на поверхности полупроводниковой подложки.

Признаками прототипа, совпадающими с существенными признаками заявляемого объекта, являются: формирование симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки; возможность формирования квантовых точек в твердых растворах переменного состава; использование углублений пирамидальной формы для селективного формирования квантовых точек.

Причинами, препятствующими достижению технического результата, являются: формирование квантовых точек за счет утолщения осаждаемого материала на
 структурированную поверхность, что усложняет контроль размеров квантовых точек и сохранение когерентности их материала с материалом подложки, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на структурном и оптическом качестве материала;
 35 использование полупроводниковой подложки с ориентацией поверхности (111), которая является нетехнологичной для роста эпитаксиальных структур; использование методов фотолитографии и жидкостного травления для формирования углублений, что приводит к необратимому загрязнению поверхности и образованию дефектов в эпитаксиальных слоях, негативно влияющих на структурное и оптическое качество материала и
 40 функциональные характеристики формируемых квантовых точек.

Технический результат предлагаемого способа - формирование в твердых растворах переменного состава $(\text{In,Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ симметричных квантовых точек на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100).

Технический результат достигается за счет того, что для формирования симметричных
 45 квантовых точек сначала на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100) формируются однородные симметричные углубления в форме перевернутой пирамиды за счет анизотропного локального капельного травления, затем осуществляется селективное формирование квантовых точек путем

осаждения твердого раствора замещения переменного состава $(\text{In}, \text{Al})\text{xGa}_{1-\text{x}}\text{As}$, на поверхность с углублениями, в результате чего в углублении происходит диффузионный распад твердого раствора замещения переменного состава за счет различной диффузионной длины компонентов материала квантовой ямы, в следствии чего в углублениях происходит селективное самосогласованное формирование симметричные квантовых точек.

Для достижения необходимого технического результата предложен способ создания симметричных квантовых точек, состоящий из этапа формирования симметричных углублений в форме перевернутой пирамиды путем анизотропного локального капельного травления поверхности полупроводниковой подложки и последующего этапа осаждения твердого раствора замещения переменного состава, на полученную поверхность с углублениями, в результате чего в углублениях селективно формируются квантовые точки вследствие диффузионного распада твердого раствора замещения переменного состава.

На Фиг. 1 изображена схема этапов способа формирования симметричных квантовых точек.

Изготовление симметричных квантовых точек происходит следующим образом.

На полупроводниковой подложке с технологичной ориентацией (100) 1 (Фиг. 1, шаг 1) методом анизотропного локального капельного травления формируются симметричные углубления в форме перевернутой пирамиды 2 (Фиг. 1, шаг 2). Затем на поверхность полупроводниковой подложки с сформированными таким образом углублениями осаждается твердого раствора замещения переменного состава 3 (Фиг. 1, шаг 3), в результате чего в углублениях из-за разницы диффузионных длин компонентов твердого раствора замещения переменного состава, происходит его диффузионный распад 4 (Фиг. 1, шаг 3) с образованием самосогласованных симметричных квантовых точек 5 (Фиг. 1, шаг 3). Использование анизотропного локального капельного травления для получения углублений пирамидальной формы исключает загрязнение ростовой поверхности посторонними веществами, что обеспечивает в дальнейшем высокое структурное и оптическое качество эпитаксиального материала и формируемых структур. Использование эффекта диффузионного распада твердого раствора замещения переменного состава позволяет обеспечивать самосогласованное формирование квантовых точек в системе материалов $(\text{In}, \text{Al})\text{xGa}_{1-\text{x}}\text{As}$, а также гарантировать когерентность кристаллических решеток материалов квантовой точки и матрицы, что также обеспечивает высокое структурное и оптическое качество получаемых структур.

Предлагаемый способ прошел экспериментальную апробацию авторами, поскольку в его основе лежат оригинальные результаты экспериментальных исследований. Нами было показано, что при осаждении слоя твердого раствора замещения переменного состава $\text{In}_x\text{Ga}_{1-\text{x}}\text{As}$ толщиной 10 нм на структурированную подложку $\text{GaAs}(100)$, происходит распад раствора с образованием системы, которая включает в себя самосогласованную квантовую точку и квантовую яму в пределах каждого углубления. Результаты исследований образцов методами фотолюминесценции с микроразрешением и построением карт распределения сигнала показали, что квантовая точка обогащается узкозонным компонентом (InAs) и излучает в более длинноволновом спектральном диапазоне (920-950 нм), в то время как квантовая яма излучает в диапазоне длин волн 900-920 нм. При этом изменение размеров углублений не оказывает влияния на положение пика фотолюминесценции квантовых точек, что свидетельствует о самосогласованном процессе их формирования, а также сохранении размера, формы

и химического состава квантовых точек.

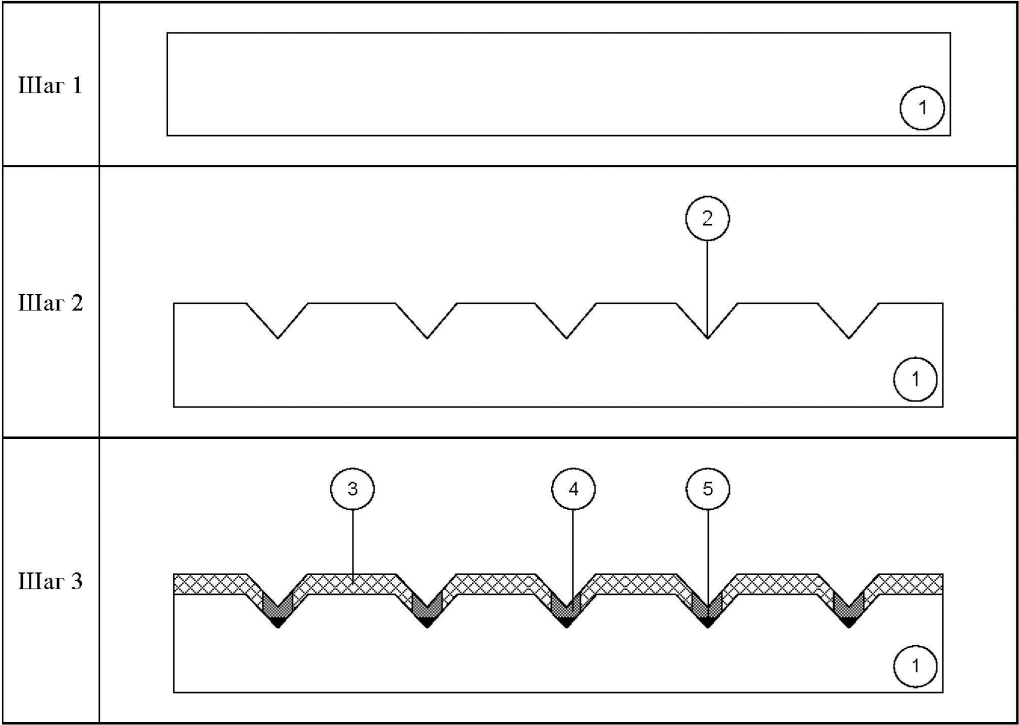
Нами также было экспериментально показано, что при осаждении слоя твердого раствора замещения переменного состава $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ толщиной 50 нм на структурированную подложку $\text{GaAs}(100)$, происходит распад раствора с образованием квантовых точек. Результаты исследований образцов методами фотолюминесценции с микроразрешением и построением карт распределения сигнала показали, что квантовая точка обогащается узкозонным компонентом (GaAs) и излучает в более длинноволновом спектральном диапазоне (650-680 нм) в сравнении с слоем объемного $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, излучающем на длине волны ~630 нм. При этом изменение размеров углублений не оказывает влияния на положение пика фотолюминесценции квантовых точек, что свидетельствует о самосогласованном процессе их формирования, а также сохранении размера, формы и химического состава квантовых точек.

Таким образом, предлагаемый способ представляет собой способ, позволяющий формировать в твердого раствора замещения переменного состава $(\text{In},\text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ симметричные квантовые точки на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100).

Таким образом, по сравнению с аналогичными способами, предлагаемый способ формирования симметричных квантовых точек позволяет формировать в твердого раствора замещения переменного состава $(\text{In},\text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ симметричные квантовые точки на поверхности полупроводниковой подложки с технологичной ориентацией (100), за счет формирования симметричных углублений в форме перевернутой пирамиды путем анизотропного локального капельного травления на поверхности полупроводниковой подложки и последующего этапа осаждения твердого раствора замещения переменного состава $(\text{In},\text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, на полученную поверхность с диффузионным распадом твердого раствора замещения и селективным самосогласованным формированием квантовых точек в углублениях.

(57) Формула изобретения

Способ формирования симметричных квантовых точек, заключающийся в том, что на полупроводниковой подложке с технологичной ориентацией (100) методом анизотропного локального капельного травления формируют симметричные углубления в форме перевернутой пирамиды, затем на поверхность полупроводниковой подложки осаждают твердый раствор замещения переменного состава $(\text{In},\text{Al})_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, в результате чего происходит диффузионный распад твердого раствора замещения с селективным самосогласованным формированием симметричных квантовых точек в углублениях.



ФИГ. 1