



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011131881/28, 28.07.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.07.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.07.2011

(45) Опубликовано: 10.12.2012 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **K.L.Tsai et al, Influence of oxygen on the performance of GaAs / AlGaAs quantum well infrared photodetectors, Journal of Applied Physics 76 (1), 1 July 1994, p.274-277.**
D.K.Sengupta et al, Growth and Characterization of n-Type GaAs / AlGaAs Quantum Well Infrared Photodetector on GaAs-on-Si Substrate, Journal of Electronic Materials, Vol.27, No.7, (см. прод.)

Адрес для переписки:

192007, Санкт-Петербург, а/я 146, ООО
"АИС поли-ИНФОРМ-патент"

(72) Автор(ы):

**Красовицкий Дмитрий Михайлович (RU),
Чалый Виктор Петрович (RU),
Кацавец Николай Иванович (RU),
Дудин Анатолий Леонидович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

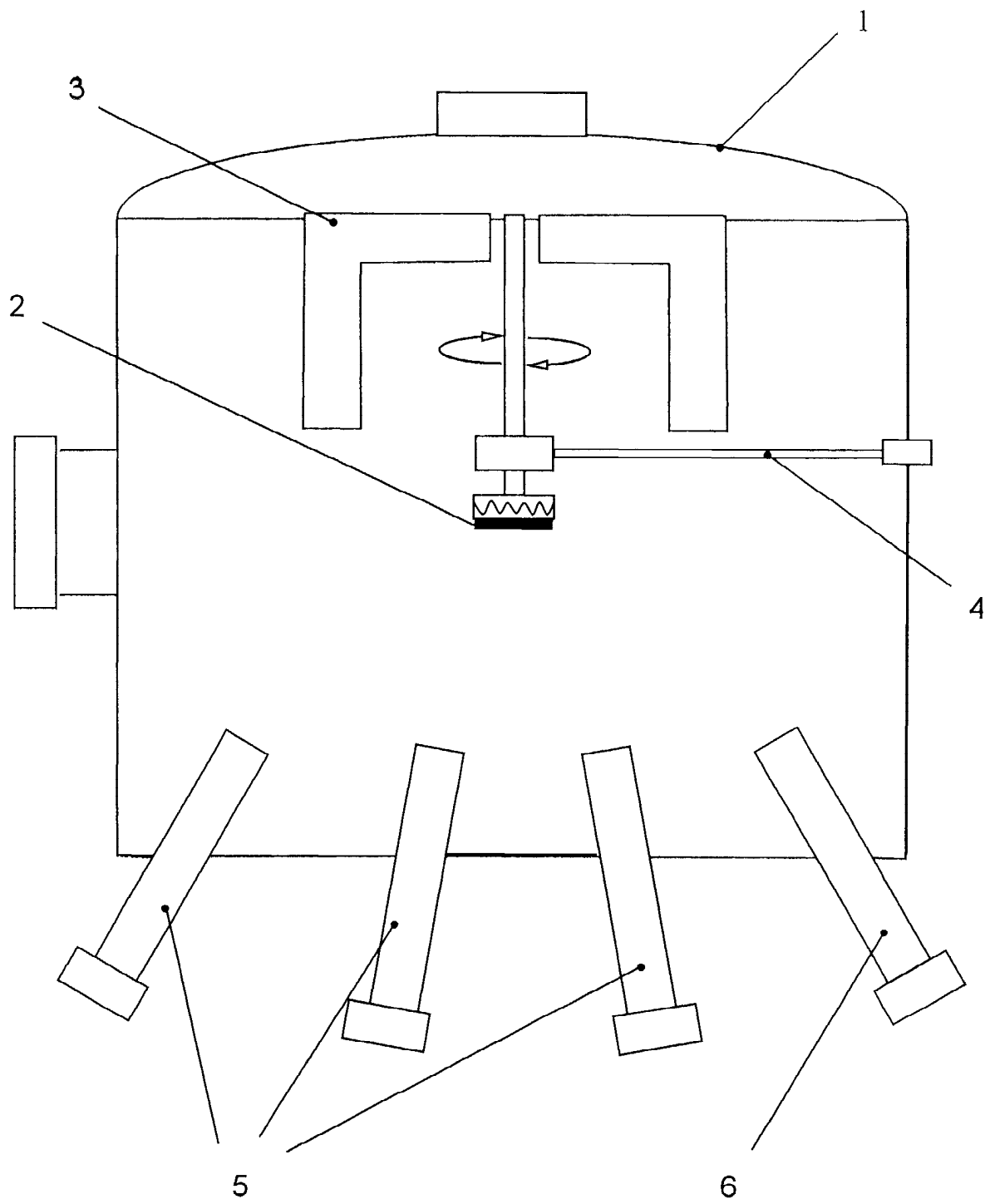
Закрытое акционерное общество "Светлана-Рост" (RU)

(54) СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ФОТОДЕТЕКТОРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии выращивания полупроводниковых гетероструктур со множественными квантовыми ямами методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) и может быть использовано при изготовлении устройств на основе фотоприемных матриц с чувствительностью в глубоком инфракрасном диапазоне (8-12 мкм). Сущность изобретения: в способе выращивания гетероструктуры для инфракрасного фотодетектора, включающей подложку и вышележащие полупроводниковые слои - контактные и слои, образующие активную область, содержащую множество квантовых ям и барьеров, методом молекулярно-пучковой эпитаксии путем нагрева подложки в вакууме и попеременной

подачи потоков реагентов в квантовые ямы и барьеры, а также легирующей примеси - Si в квантовые ямы, в квантовые ямы подают реагенты: Ga и As, а в квантовые барьеры - Al, Ga и As, в квантовые ямы дополнительно подают Al в количестве, обеспечивающем его мольную долю в квантовой яме 0,02-0,10, при этом в процессе выращивания слоев, образующих активную область, температуру подложки поддерживают в пределах 700-750°C, а уровень легирования квантовых ям поддерживают в пределах $(2-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Изобретение обеспечивает снижение количества кристаллических дефектов и повышение тем самым чувствительности (отношение сигнал/шум) и обнаружительной способности (минимальное значение детектируемого сигнала фотодетектора). 1 ил.



(56) (продолжение):

1998, p.858-859. US 6559471 B2, 06.05.2003. US 7399988 B2, 15.07.2008. RU 2065644 C1, 20.08.1996. RU 2089656 C1, 10.09.1997.

RU 2 4 6 9 4 3 2 C 1

RU 2 4 6 9 4 3 2 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01L 21/20 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011131881/28, 28.07.2011

(24) Effective date for property rights:
28.07.2011

Priority:

(22) Date of filing: 28.07.2011

(45) Date of publication: 10.12.2012 Bull. 34

Mail address:

192007, Sankt-Peterburg, a/ja 146, OOO "AIS poli-INFORM-patent"

(72) Inventor(s):

**Krasovitskij Dmitrij Mikhajlovich (RU),
Chalyj Viktor Petrovich (RU),
Katsavets Nikolaj Ivanovich (RU),
Dudin Anatolij Leonidovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo "Svetlana-Rost" (RU)

(54) **METHOD TO GROW HETEROSTRUCTURE FOR INFRARED PHOTODETECTOR**

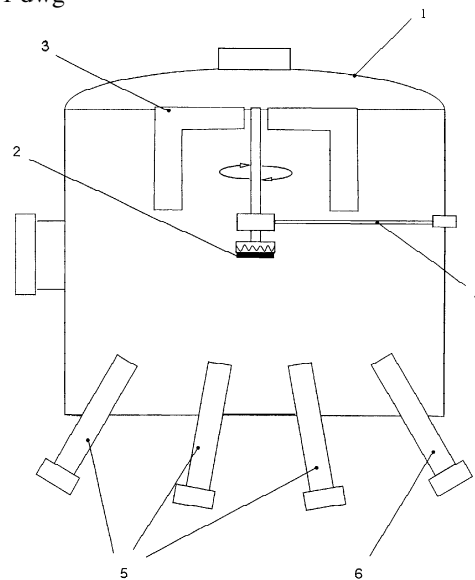
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: in the method for growing a heterostructure for an infrared photodetector, comprising a substrate and above semiconductor layers - contact ones and layers forming an active area, containing many quantum wells and barriers, by the method of molecular-beam epitaxy, by means of substrate heating in vacuum and alternate supply of reagent flows into quantum wells and barriers, and also an alloying admixture - Si into quantum wells, the following reagents are supplied into quantum wells: Ga and As, and into quantum barriers - Al, Ga and As, into quantum wells additionally Al is supplied in the amount providing for its molar share in the quantum well equal to 0.02-0.10, at the same time in process of growing layers forming an active area the substrate temperature is maintained within 700-750°C, and the level of quantum wells alloying is maintained within $(2-5) \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

EFFECT: reduced number of crystalline defects and thus higher sensitivity and detecting capacity.

1 dwg



RU 2 4 6 9 4 3 2 C 1

RU 2 4 6 9 4 3 2 C 1

Изобретение относится к технологии выращивания полупроводниковых гетероструктур со множественными квантовыми ямами методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) и может быть использовано при изготовлении устройств на основе фотоприемных матриц с чувствительностью в глубоком инфракрасном диапазоне (8-12 мкм). Фоточувствительность в указанном спектральном диапазоне может быть обеспечена при низких температурах (менее 77К) за счет поглощения энергии при непрямых переходах носителей между подзонами в активной области гетероструктуры, состоящей из чередующихся пар квантовых ям (материала с меньшей шириной запрещенной зоны) и барьеров (материала с большей шириной запрещенной зоны). При выращивании таких гетероструктур необходимо решить ряд взаимосвязанных проблем:

- абсолютная величина поглощения в одной квантовой яме достаточно низка, поэтому в активной области гетероструктуры используют несколько десятков (от 20 до 50) пар квантовых ям и барьеров, химический состав и толщина которых должны быть выдержаны как можно более точно для обеспечения необходимой спектральной чувствительности;

- для увеличения эффективности поглощения квантовые ямы обычно модулированно легируют (например, донорной примесью - Si) до высоких концентраций (в том числе, применяется так называемое «дельта-легирование»), однако при этом необходимо учитывать явление поверхностной сегрегации, приводящее к неоднородности концентрации примеси, наиболее выраженное при повышенных температурах роста;

- для обеспечения точности поддержания состава и толщины слоев активной области и резкости гетерограниц между ними предпочтительно снижать температуру выращивания, однако при этом в материалах слоев образуется повышенное количество кристаллических дефектов (дислокаций и глубоких примесей, главным образом, кислорода), являющихся центрами рекомбинации (DX-центрами), снижающими эффективность поглощения в квантовых ямах;

- повышение концентрации легирующей примеси в квантовых ямах увеличивает чувствительность активной области, однако приводит к повышенному «темновому» току фотодетектора и, следовательно, к необходимости снижения рабочей температуры.

Известен способ выращивания гетероструктуры для инфракрасного детектора, включающей подложку и вышележащие полупроводниковые слои - контактные и слои, образующие активную область, содержащую 50 квантовых ям GaAs и квантовых барьеров AlGaAs. Квантовые ямы легированы Si с уровнем легирования $3,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Температуру подложки поддерживают 690°C , см. D.K.Sengupta и др. Growth and Characterization of n-Type GaAs / AlGaAs Quantum Well Infrared Photodetector on GaAs-on-Si Substrate, Journal of Electronic Materials, Vol.27, No.7, 1998, P.P.858859, США (копия прилагается). Данный способ не обеспечивает резкости гетерограниц из-за термической неустойчивости GaAs при температуре 690°C . Кроме того, при высоком уровне легирования при данной температуре вследствие поверхностной сегрегации атомов Si не обеспечивается однородность легирования квантовых ям. Это приводит к падению спектральной чувствительности фотодетектора и увеличению темнового тока.

Известен способ выращивания гетероструктуры для инфракрасного фотодетектора, включающей подложку и вышележащие полупроводниковые слои, образующие активную область, содержащую множество легированных кремнием

квантовых ям, а также множество квантовых барьеров. Способ осуществляют методом МПЭ путем нагрева подложки в вакууме при t 580°C, в квантовые ямы подают реагенты Ga и As, а в квантовые барьеры - Al, Ga и As. Уровень легирования квантовых ям $Si: 1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, см. K.L.Tsai и др., Influence of oxygen on the performance of GaAs / AlGaAs quantum wellinfrared photodetectors, Journal of Applied Physics 76 (1), 1 July 1994, P.P.274-277 (копия прилагается).

Данное техническое решение принято в качестве прототипа настоящего изобретения. В данном способе температура процесса снижена по сравнению с вышеописанным аналогом, что предотвращает термическую неустойчивость GaAs и обеспечивает определенную резкость гетерограниц, однако низкая температура процесса обуславливает повышенное количество кристаллических дефектов (дислокаций и глубоких примесей, например кислорода), являющихся центрами рекомбинации (DX-центрами), снижающими эффективность поглощения в квантовых ямах и, соответственно, чувствительность и обнаружительную способность инфракрасного детектора.

Задачей настоящего изобретения является снижение количества кристаллических дефектов и повышение тем самым чувствительности (отношение сигнал/шум) и обнаружительной способности (минимальное значение детектируемого сигнала фотодетектора).

Согласно изобретению в способе выращивания гетероструктуры для инфракрасного фотодетектора, включающей подложку и вышележащие полупроводниковые слои - контактные и слои, образующие активную область, содержащую множество квантовых ям и барьеров, методом молекулярно-пучковой эпитаксии путем нагрева подложки в вакууме и попеременной подачи потоков реагентов в квантовые ямы и барьеры, а также легирующей примеси - Si в квантовые ямы, причем в квантовые ямы подают реагенты Ga и As, а в квантовые барьеры - Al, Ga и As, в квантовые ямы дополнительно подают Al в количестве, обеспечивающем его мольную долю в квантовой яме 0,02-0,10, при этом в процессе выращивания слоев, образующих активную область, температуру подложки поддерживают в пределах 700-750°C, а уровень легирования квантовых ям поддерживают в пределах $(2-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Заявителем не выявлены источники, содержащие информацию о технических решениях, идентичных настоящему изобретению, что позволяет сделать вывод о его соответствии критерию «Новизна».

Реализация отличительных признаков изобретения обуславливает важное новое свойство заявленного способа: обеспечение резкости гетерограниц наряду с уменьшением количества кристаллических дефектов. Подача в квантовые ямы Al в количестве, обеспечивающем его мольную долю в квантовой яме в пределах 0,02-0,10, повышает термическую устойчивость материала квантовой ямы и предотвращает снижение резкости гетерограниц даже при достаточно высоких (700-750°C) температурах, при которых количество кристаллических дефектов значительно снижается. Нижний предел - 700°C обусловлен тем, что при температурах выше 700°C адсорбция примесей (атомов кислорода) пренебрежимо мала, повышение температуры процесса выше 750°C нерационально, так как не дает дополнительного эффекта. При этом поверхностная сегрегация атомов Si понижена за счет снижения уровня легирования до $(2-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (практически, на порядок ниже в сравнении с прототипом), что уменьшает неоднородность концентрации примесей.

Снижение уровня легирования до указанных выше значений стало возможным благодаря тому, что при повышенной до 700-750°C температуре процесса количество

дефектов уменьшается и, соответственно, увеличивается чувствительность активной области гетероструктуры, что компенсирует снижение чувствительности, связанное с уровнем легирования.

Указанные новые свойства изобретения обуславливают, по мнению заявителя, соответствие изобретения критерию «Изобретательский уровень».

Заявленный способ иллюстрируется приведенной на чертеже схемой установки для МПЭ.

В вакуумной камере 1 размещают кристаллическую подложку 2 для выращивания гетероструктуры. Для поддержания высокого вакуума в ходе процесса используют криопанели 3 с жидким азотом. Маневрирование подложкой 2 и ее нагрев осуществляют при помощи манипулятора 4. Исходные реагенты в виде атомарных пучков металлов III группы (Al, Ga) и легирующей примеси (Si) подают на подложку 2 из испарителей 5, а подача мышьяка (As) осуществляется через источник с крекером 6.

Сначала подложку 2 нагревают до температуры 580-600°C для удаления собственного окисла путем его термического разложения. Затем на нагретую поверхность подложки 2 одновременно подают потоки As из источника 6 и атомов Ga и Si из испарителей 5 для выращивания нижнего контактного слоя заданной толщины и концентрации носителей. Затем за короткий промежуток времени одновременно повышают температуру подложки до значений в диапазоне 700-750°C, перекрывают поток атомов Si и на подложку подают атомарный поток Al для выращивания первого барьерного слоя. По достижении заданной толщины барьерного слоя переключают потоки атомов Al так, чтобы мольная доля алюминия находилась в диапазоне 0,02-0,10, и открывают поток атомов Si, обеспечивающий уровень легирования $(2-5) \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ квантовой ямы. В этом режиме проводят выращивание заданной толщины квантовой ямы, после чего проводят обратное переключение к режиму выращивания барьерного слоя. Цикл выращивания пары «квантовая яма/барьер» повторяют заданное число раз, после чего перекрывают поток атомов Al и проводят выращивание верхнего контактного слоя GaAs.

Таким образом, выращенная согласно заявленному способу гетероструктура для инфракрасного фотодетектора имеет значительно меньшую концентрацию глубоких центров рекомбинации в барьерных слоях и при обеспечении резкости гетерограниц, соответственно, обладает высокой эффективностью преобразования падающего излучения.

Реализация способа осуществляется с помощью известного оборудования и материалов. По мнению заявителя, изобретение соответствует критерию «Промышленная применимость».

Формула изобретения

Способ выращивания гетероструктуры для инфракрасного фотодетектора, включающей подложку и вышележащие полупроводниковые слои - контактные и слои, образующие активную область, содержащую множество квантовых ям и барьеров, методом молекулярно-пучковой эпитаксии путем нагрева подложки в вакууме и попеременной подачи потоков реагентов в квантовые ямы и барьеры, а также легирующей примеси - Si в квантовые ямы, причем в квантовые ямы подают реагенты: Ga и As, а в квантовые барьеры - Al, Ga и As, отличающийся тем, что в квантовые ямы дополнительно подают Al в количестве, обеспечивающем его мольную долю в квантовой яме 0,02-0,10, при этом в процессе выращивания слоев, образующих активную область, температуру подложки поддерживают в пределах 700-

750°C, а уровень легирования квантовых ям поддерживают в пределах $(2-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50