



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011129184/28, 13.07.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.07.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.07.2011

(45) Опубликовано: 10.12.2012 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6071795 A, 06.06.2000. US 6365429 B1,
02.04.2002. US 2002/0070125 A1, 13.06.2002.
WO 2009/094558 A2, 30.07.2009. RU 2260874
C2, 20.09.2005.

Адрес для переписки:

197046, Санкт-Петербург,
Каменноостровский пр-кт, 1/3, оф.30, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", В.М.Станковскому, рег.№ 257

(72) Автор(ы):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),
Ребане Юрий Тоомасович (RU),
Миронов Алексей Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),
Ребане Юрий Тоомасович (RU),
Миронов Алексей Владимирович (RU)**

(54) СПОСОБ ЛАЗЕРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ ИЛИ СЛОЯ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ ОТ РОСТОВОЙ ПОДЛОЖКИ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ (ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Изобретение относится к области лазерной обработки твердых материалов, в частности к способу отделения поверхностных слоев полупроводниковых кристаллов с помощью лазерного излучения. Способ лазерного отделения основан на использовании селективного легирования подложки и эпитаксиальной пленки мелкими донорными или акцепторными примесями. При селективном легировании концентрации свободных носителей в эпитаксиальной пленке и подложке могут существенно отличаться, и это может приводить к сильному отличию коэффициентов поглощения света в инфракрасной области вблизи области остаточных лучей, где существенны вклады в инфракрасное поглощение оптических фононов, свободных носителей и фонон-плазмонного взаимодействия оптических

фононов со свободными носителями. Соответствующим подбором уровней легирования и частоты инфракрасного лазерного излучения можно добиться того, чтобы лазерное излучение поглощалось в основном в области сильного легирования вблизи границы раздела подложка - гомоэпитаксиальная пленка. При сканировании границы раздела подложка - гомоэпитаксиальная пленка сфокусированным лазерным лучом достаточной мощности происходит термическое разложение полупроводникового кристалла с последующим отделением гомоэпитаксиальной пленки. Изобретение обеспечивает возможность отделять эпитаксиальные пленки от подложек, выполненных из того же самого кристаллического материала, что и эпитаксиальная пленка. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 6 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21)(22) Application: **2011129184/28, 13.07.2011**(24) Effective date for property rights:
13.07.2011

Priority:

(22) Date of filing: **13.07.2011**(45) Date of publication: **10.12.2012 Bull. 34**

Mail address:

**197046, Sankt-Peterburg, Kamennooostrovskij pr-kt,
1/3, of.30, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij
i Partnery", V.M.Stankovskomu, reg.№ 257**

(72) Inventor(s):

**Shreter Jurij Georgievich (RU),
Rebane Jurij Toomasovich (RU),
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Shreter Jurij Georgievich (RU),
Rebane Jurij Toomasovich (RU),
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(54) METHOD FOR LASER SEPARATION OF EPITAXIAL FILM OR LAYER OF EPITAXIAL FILM FROM GROWTH SUBSTRATE OF EPITAXIAL SEMICONDUCTOR STRUCTURE (VERSIONS)

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: laser separation method is based on use of selective doping of the substrate and the epitaxial film with small donor and acceptor dopants. During selective doping, concentration of free carriers in the epitaxial film and the substrate can significantly differ, and this can lead to a strong difference between optical absorption constants in the infrared region near the region of residual beams where the contribution of optical phonons, free carriers and phonon-plasmon interaction of optical phonons with free carriers into infrared absorption is significant. Corresponding selection of the doping

level and frequency of infrared laser radiation can lead to that laser radiation is absorbed mainly in the region of strong doping near the substrate-homoepitaxial film boundary surface. When scanning the substrate-homoepitaxial film boundary surface with a focused laser beam of sufficient power, the semiconductor crystal undergoes thermal decomposition, followed by separation of the homoepitaxial film.

EFFECT: possibility of separating epitaxial films from substrates made from the same crystalline material as the epitaxial film.

20 cl, 6 dwg

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Группа изобретений относится к области лазерной обработки твердых материалов, в частности к способу отделения поверхностных слоев полупроводниковых кристаллов с помощью лазерного излучения, а именно к лазерному отделению
 5 эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки от ростовой подложки эпитаксиальной полупроводниковой структуры.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Лазерное отделение эпитаксиальных слоев полупроводниковых кристаллов от
 10 ростовых подложек с переносом их на неростовые подложки широко применяется в настоящее время при изготовлении светодиодов (патенты US 7241667, US 7202141) и лазерных диодов (US 6365429) по технологии флип-чип.

Впервые лазерное отделение слоев нитрида галлия от прозрачных ростовых подложек сапфира было предложено в работе Kelly et al Physica Status Solidi(a) vol.
 15 159, pp.R3, R4, (1997). В этой работе использовался ультрафиолетовый эксимерный лазер с длиной волны $\lambda=355$ нм, удовлетворяющей соотношению $2\pi\hbar c/E_{g1} < \lambda < 2\pi\hbar c/E_{g2}$, для которой энергия кванта находится внутри запрещенной зоны подложки E_{g1} , сделанной из сапфира, но превышает ширину запрещенной зоны эпитаксиальной
 20 пленки E_{g2} , состоящей из нитрида галлия.

Впоследствии способ лазерного отделения, основанный на различии ширин запрещенных зон ростовой подложки и эпитаксиальной пленки, был усовершенствован. В частности, для улучшения качества отделенной эпитаксиальной
 25 пленки и подавления ее растрескивания было предложено использовать добавочный жертвенный слой с шириной запрещенной зоны, меньшей ширины запрещенных зон ростовой подложки и эпитаксиальной пленки, а также применять сканирование лазерным лучом гетероэпитаксиальной границы раздела между ростовой подложкой и эпитаксиальной пленкой (патенты US 6071795, US 6365429).

Общая схема способов лазерного отделения, основанных на различии ширин запрещенных зон ростовой подложки и эпитаксиальной пленки, показана на Фиг.1.

При облучении ультрафиолетовым светом со стороны подложки гетероэпитаксиальной полупроводниковой пленки 102 нитрида галлия, выращенной на подложке 101 из сапфира, имеющего ширину запрещенной зоны, большую, чем
 35 энергия кванта света, ультрафиолетовое лазерное излучение проходит сквозь сапфир и поглощается в тонком слое нитрида галлия вблизи гетероэпитаксиальной границы раздела 105 нитрид галлия - сапфир. Под воздействием ультрафиолетового лазерного излучения, нитрид галлия в области 104, определяемой пересечением
 40 ультрафиолетового лазерного луча 103 с гетероэпитаксиальной границей раздела 105, нагревается до температуры T_1 , превышающей температуру разложения $T_0 \sim 900^\circ\text{C}$, и разлагается на газообразный азот и жидкий галлий, и в результате эпитаксиальная пленка нитрида галлия отделяется от сапфира.

Все предложенные ранее способы лазерного отделения эпитаксиальных пленок от ростовых подложек основаны на различии ширин запрещенных зон эпитаксиальной
 45 пленки E_{g2} и подложки E_{g1} . Эти способы могут успешно применяться для отделения эпитаксиальных пленок, полученных с использованием метода гетероэпитаксии, т.е. технологии наращивания эпитаксиальной пленки на ростовой подложке, выполненной из материала, отличного от материала эпитаксиальной пленки.
 50

Однако для получения высококачественных эпитаксиальных пленок, без встроенных механических напряжений, часто бывает необходимо использовать метод гомоэпитаксии, который предполагает наращивание эпитаксиальной пленки на

ростовой подложке из того же самого материала, что и эпитаксиальная пленка. В этом случае ростовая подложка и эпитаксиальная пленка имеют одинаковую ширину запрещенной зоны, и обычный метод лазерного отделения, описанный выше, становится неприменимым.

5 Задачей настоящего изобретения является расширение области применения способа, а именно обеспечение возможности отделять эпитаксиальные пленки от подложек, выполненных из того же самого кристаллического материала, что и эпитаксиальная пленка.

10 РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Для решения этой задачи предлагается два варианта способа лазерного отделения эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки от ростовой подложки эпитаксиальной полупроводниковой структуры.

15 В первом варианте способа при выращивании эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки используют селективное легирование мелкими донорными или акцепторными примесями некоторых областей эпитаксиальной структуры, так что результирующая концентрация мелких примесей в селективно легированных областях существенно превосходит фоновую концентрацию в нелегированных областях. Затем
20 направляют сфокусированный лазерный луч на эпитаксиальную структуру, состоящую из подложки и эпитаксиальной пленки, так, что фокус луча расположен в селективно легированных областях кристаллической структуры, в которых происходит поглощение лазерного излучения. Лазерный луч перемещают с осуществлением сканирования фокусом луча селективно легированных областей
25 эпитаксиальной структуры с частичным термическим разложением селективно легированных областей и уменьшением их механической прочности. После лазерного сканирования эпитаксиальную структуру наклеивают на временную подложку и отделяют эпитаксиальную пленку или слой эпитаксиальной пленки от ростовой
30 подложки или ростовой подложки с частью эпитаксиальной пленки посредством приложения механического или термомеханического напряжения.

Второй вариант способа характеризуется теми же признаками, а отличается от первого тем, что эпитаксиальную структуру наклеивают на временную подложку перед лазерным сканированием, затем проводят лазерное сканирование
35 эпитаксиальной структуры, наклеенной на временную подложку, и после лазерного сканирования отделяют эпитаксиальную пленку или слой эпитаксиальной пленки от ростовой подложки или ростовой подложки с частью эпитаксиальной пленки посредством приложения механического или термомеханического напряжения.

40 Предпочтительно, эпитаксиальная пленка или слой эпитаксиальной пленки выращена методом гомоэпитаксии.

Предпочтительно, селективно легированной областью является подложка или поверхностный слой подложки.

45 Предпочтительно, селективно легированной областью является эпитаксиальная пленка или нижний слой эпитаксиальной пленки.

Предпочтительно, материалом кристаллической структуры, состоящей из подложки и эпитаксиальной пленки, является полупроводник из элементов четвертой группы, или полупроводниковое соединение из элементов четвертой группы, или
50 полупроводниковое соединение из элементов третьей и пятой групп, или полупроводниковое соединение из элементов второй и шестой групп периодической таблицы элементов.

Предпочтительно, длина волны лазера для отделения гомоэпитаксиальных пленок

от ростовой подложки лежит в следующих диапазонах длин волн: для полупроводников кремния, германия и арсенида галлия в диапазоне $6 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 48 \text{ мкм}$, для нитрида галлия в диапазоне $4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 32 \text{ мкм}$, для карбида кремния $3 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 24 \text{ мкм}$, для нитрида алюминия в диапазоне $2,5 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 20 \text{ мкм}$, и для алмаза - $2 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 16 \text{ мкм}$.

Предпочтительно, в качестве лазера используется инфракрасный газовый лазер с импульсной накачкой на двуокиси углерода CO_2 или монооксиде углерода CO .

Предложенные варианты способа лазерного отделения позволяют отделять гомоэпитаксиальные пленки от подложек, выполненных из того же самого кристаллического материала, что и эпитаксиальная пленка. Этот новый способ лазерного отделения основан на использовании селективного легирования подложки и эпитаксиальной пленки мелкими донорными или акцепторными примесями. При селективном легировании концентрации свободных носителей в эпитаксиальной пленке и подложке могут существенно отличаться, и это может приводить к сильному отличию коэффициентов поглощения света в инфракрасной области вблизи области остаточных лучей, где существенны вклады в инфракрасное поглощение оптических фононов, свободных носителей и фонон-плазмонного взаимодействия оптических фононов со свободными носителями.

Соответствующим подбором уровней легирования и частоты инфракрасного лазерного излучения можно добиться того, чтобы лазерное излучение поглощалось в основном в области сильного легирования вблизи границы раздела подложка - гомоэпитаксиальная пленка. При сканировании границы раздела подложка - гомоэпитаксиальная пленка сфокусированным лазерным лучом достаточной мощности происходит термическое разложение полупроводникового кристалла с последующим отделением гомоэпитаксиальной пленки.

Для осуществления предложенного способа лазерного отделения предпочтительно использовать лазерное излучение с длиной волны λ , лежащей в инфракрасной области относительной прозрачности нелегированного полупроводника, а именно вблизи края области остаточных лучей, где невозможно сильное поглощение света за счет одно- и двухфононных процессов, но может присутствовать относительно слабое поглощение за счет трех- и более фононных процессов.

Предпочтительно, длина волны λ лазерного луча заключена в интервале $c/4\nu_0 \leq \lambda \leq 2c/\nu_0$, где ν_0 - частота ЛО-оптического фонона для полупроводникового материала ростовой подложки, c - скорость света.

Из приведенного выше неравенства следует, что предпочтительная длина волны лазера для отделения гомоэпитаксиальных пленок от ростовой подложки лежит в следующих диапазонах длин волн: для полупроводников кремния, германия и арсенида галлия в диапазоне $6 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 48 \text{ мкм}$, для нитрида галлия в диапазоне $4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 32 \text{ мкм}$, для карбида кремния - $3 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 24 \text{ мкм}$, для нитрида алюминия в диапазоне $2,5 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 20 \text{ мкм}$, и для алмаза - $2 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 16 \text{ мкм}$.

Технический результат предложенного изобретения состоит в предложении нового по сравнению с ранее известными способа лазерного отделения эпитаксиальных пленок, который позволяет отделять от подложек гомоэпитаксиальные пленки, т.е. эпитаксиальные пленки, имеющие ту же ширину запрещенной зоны, что и исходная полупроводниковая подложка. Также предложенный способ позволяет использовать для отделения эпитаксиальных пленок высокоэффективные и недорогие инфракрасные газовые лазеры на двуокиси углерода CO_2 или монооксиде углерода CO .

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее изобретение иллюстрируется чертежами, на которых представлен известный уровень техники, Фиг.1, схемы, иллюстрирующие реализацию настоящего изобретения, Фиг.2-5, и расчетные спектральные зависимости коэффициента поглощения света в нитриде галлия при различных уровнях легирования мелкими донорными примесями, Фиг.6.

На Фиг.1 представлена схема известного из уровня техники способа лазерного отделения гетероэпитаксиальной пленки полупроводникового кристалла от инородной ростовой подложки с использованием сфокусированного лазерного излучения, с длиной волны λ , для которой энергия кванта света находится внутри запрещенной зоны подложки E_{g1} и превышает ширину запрещенной зоны материала эпитаксиальной пленки E_{g2} .

На Фиг.2 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ лазерного отделения гомоэпитаксиальной пленки от полупроводниковой подложки, состоящей из того же самого полупроводникового материала, что и гомоэпитаксиальная пленка. Схема иллюстрирует лазерное отделение для случая селективного легирования подложки и гомоэпитаксиальной пленки мелкими донорными или акцепторными примесями, когда уровень легирования в гомоэпитаксиальной пленке превышает уровень легирования в полупроводниковой подложке.

На Фиг.3 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ лазерного отделения гомоэпитаксиальной пленки от полупроводниковой подложки, состоящей из того же самого полупроводникового материала, что и гомоэпитаксиальная пленка. Схема иллюстрирует лазерное отделение для случая селективного легирования подложки и гомоэпитаксиальной пленки мелкими донорными или акцепторными примесями, когда уровень легирования в полупроводниковой подложке превышает уровень легирования в гомоэпитаксиальной пленке.

На Фиг.4 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ лазерного отделения нелегированного верхнего слоя гомоэпитаксиальной пленки от нелегированной полупроводниковой подложки с помощью лазерного луча, проходящего сквозь подложку и поглощающегося в нижнем слое гомоэпитаксиальной пленки, легированном мелкими донорными или акцепторными примесями.

На Фиг.5 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ лазерного отделения нелегированного верхнего слоя гомоэпитаксиальной пленки от нелегированной полупроводниковой подложки с помощью лазерного луча, проходящего сквозь верхний нелегированный слой и поглощающегося в нижнем слое гомоэпитаксиальной пленки, легированном мелкими донорными или акцепторными примесями.

На Фиг.6 представлены рассчитанные спектральные зависимости коэффициента поглощения света вблизи области остаточных лучей для полупроводникового кристалла нитрида галлия при различных уровнях легирования мелкими донорными примесями. Зависимости 601, 602 и 603 относятся к уровням легирования 10^{17} , 10^{18} и $5 \cdot 10^{19}$ см^{-3} соответственно.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение будет прояснено ниже на нескольких примерах его осуществления. Следует отметить, что последующее описание этих примеров осуществления является лишь иллюстративным и не является исчерпывающим.

Пример 1. Отделение гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, легированной

мелкими донорными примесями, от нелегированной полупроводниковой подложки нитрида галлия с помощью лазерного луча, проходящего сквозь подложку.

На Фиг.2 представлена схема лазерного отделения гомоэпитаксиальной пленки 202 нитрида галлия, толщиной 50 мкм от полупроводниковой подложки 101 нитрида галлия, толщиной 200 мкм. Уровень легирования мелкими донорными примесями кремния в гомоэпитаксиальной пленке 202 составляет $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и превышает фоновую концентрацию мелких доноров кислорода и кремния в полупроводниковой подложке 101, равный 10^{17} см^{-3} .

Для отделения гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия используется CO_2 лазер, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=10,6$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,1 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 100 герц.

Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10$ мкм в гомоэпитаксиальной пленке 202 нитрида галлия, легированной мелкими донорными примесями кремния с концентрацией $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, равен $4 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, тогда как коэффициент поглощения этого излучения в нелегированной полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия, с фоновой концентрацией мелких доноров кислорода и кремния, равной 10^{17} см^{-3} , составляет $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-1}$.

Соответствующие спектральные зависимости коэффициента поглощения света вблизи области остаточных лучей, рассчитанные нами для полупроводниковых кристаллов нитрида галлия с различными уровнями легирования мелкими донорными примесями, приведены на Фиг.6. Кривые 601, 602 и 603 относятся к уровням легирования 10^{17} , 10^{18} и $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Как видно из схемы на Фиг.2, инфракрасный лазерный луч 203 проходит сквозь подложку 101 и фокусируется в пятно диаметром 1 мм, что обеспечивает плотность энергии 10 Дж/см^2 . Под действием сфокусированного в пятно диаметром 1 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного CO_2 лазера с длиной волны $\lambda=10$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированной полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия и сильно поглощающегося в легированной мелкими донорными примесями гомоэпитаксиальной пленке 202 нитрида галлия, происходит локальный нагрев гомоэпитаксиальной пленки 202 в области 204, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с гомоэпитаксиальной границей раздела 205 между нелегированной полупроводниковой подложкой 101 и легированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Локальный нагрев до температуры выше 900°C приводит к химическому разложению кристалла нитрида галлия на газообразный азот и жидкий галлий в области 204. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 10 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной гомоэпитаксиальной границе раздела 205, приводит к последовательному разложению нитрида галлия в наборе областей 204 и ослаблению гомоэпитаксиальной границы раздела 205 между нелегированной полупроводниковой подложкой 101 и легированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Наклеивая затем гомоэпитаксиальную пленку 202 на временную металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить эпитаксиальную пленку 202 от подложки 101.

Пример 2. Отделение нелегированной гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия от легированной мелкими донорными примесями полупроводниковой подложки нитрида галлия с помощью лазерного луча, проходящего сквозь гомоэпитаксиальную

пленку.

На Фиг.3 представлена схема лазерного отделения нелегированной гомоэпитаксиальной пленки 202 нитрида галлия, толщиной 100 мкм, от полупроводниковой подложки 101 нитрида галлия, толщиной 1 мм. Фоновая концентрация мелких доноров кислорода и кремния в гомоэпитаксиальной пленке 202 составляет 10^{17} см^{-3} и существенно меньше концентрации мелких донорных примесей кремния в легированной полупроводниковой подложке 101, равной $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Для отделения гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия используется CO_2 лазер, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=10,6$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,1 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 100 герц. Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10$ мкм в нелегированной гомоэпитаксиальной пленке 202 нитрида галлия, с фоновой концентрацией мелких доноров кислорода и кремния, равной 10^{17} см^{-3} , составляет $5 \cdot 10^1 \text{ см}^{-1}$, тогда как коэффициент поглощения этого излучения в полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия, легированной мелкими донорными примесями кремния с концентрацией $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, равен $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$. Соответствующие спектральные зависимости коэффициента поглощения света вблизи области остаточных лучей, рассчитанные нами для полупроводниковых кристаллов нитрида галлия с различными уровнями легирования мелкими донорными примесями, приведены на Фиг.6. Кривые 601, 602 и 603 относятся к уровням легирования 10^{17} , 10^{18} и $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Как видно из схемы на Фиг.3, инфракрасный лазерный луч 203 проходит сквозь гомоэпитаксиальную пленку 202 и фокусируется в пятно диаметром 1 мм, что обеспечивает плотность энергии 10 Дж/см^2 .

Под действием сфокусированного в пятно диаметром 1 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного CO_2 лазера с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированной гомоэпитаксиальной пленке 202 нитрида галлия и сильно поглощающегося в легированной мелкими донорными примесями полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия, происходит локальный нагрев подложки 101 в области 204, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с гомоэпитаксиальной границей раздела 205 раздела между легированной полупроводниковой подложкой 101 и нелегированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Локальный нагрев до температуры выше 900°C приводит к химическому разложению кристалла нитрида галлия на газообразный азот и жидкий галлий в области 204. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 10 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной гомоэпитаксиальной границе раздела 205, приводит к последовательному разложению нитрида галлия в наборе областей 204 и ослаблению гомоэпитаксиальной границы раздела 205 между легированной полупроводниковой подложкой 101 и нелегированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Наклеивая затем гомоэпитаксиальную пленку 202 на временную металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить гомоэпитаксиальную пленку 202 от подложки 101.

Пример 3. Отделение нелегированного верхнего слоя гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия от нелегированной полупроводниковой подложки нитрида галлия с помощью лазерного луча, проходящего сквозь подложку и поглощающегося в нижнем слое гомоэпитаксиальной пленки, легированном мелкими донорными

примесями. На Фиг.4 представлена схема лазерного отделения нелегированной гомоэпитаксиальной пленки 202 нитрида галлия, толщиной 50 мкм, от нелегированной полупроводниковой подложки 101 нитрида галлия, толщиной 200 мкм, с использованием легированного нижнего слоя 406 гомоэпитаксиальной пленки, толщиной 1 мкм. Уровень легирования мелкими донорными примесями кремния в нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия составляет $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и превышает фоновую концентрацию мелких доноров кислорода и кремния в полупроводниковой подложке 101, и верхнем слое гомоэпитаксиальной пленки 202, равный 10^{17} см^{-3} .

Для отделения гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия используется CO_2 лазер, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=10,6$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,1 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 100 герц.

Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм в нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, легированном мелкими донорными примесями кремния с концентрацией $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, равен $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, тогда как коэффициент поглощения этого излучения в нелегированной полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия и в нелегированном верхнем слое 402 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, с фоновыми концентрациями мелких доноров кислорода и кремния, равными 10^{17} см^{-3} , равен $5 \cdot 10^1 \text{ см}^{-1}$.

Соответствующие спектральные зависимости коэффициента поглощения света вблизи области остаточных лучей, рассчитанные нами для полупроводниковых кристаллов нитрида галлия с различными уровнями легирования мелкими донорными примесями, приведены на Фиг.6. Кривые 601, 602 и 603 относятся к уровням легирования 10^{17} , 10^{18} и $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Как видно из схемы на Фиг.4, лазерный луч 203 проходит сквозь подложку 101 и фокусируется в пятно диаметром 1 мм, что обеспечивает плотность энергии 10 Дж/см^2 . Под действием сфокусированного в пятно диаметром 1 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного CO_2 лазера с длиной волны $\lambda=10$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированной полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия и сильно поглощающегося в легированном мелкими донорными примесями нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, происходит локальный нагрев нижнего слоя 406 гомоэпитаксиальной пленки в области 404, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с границей раздела 405 между нелегированной полупроводниковой подложкой 101 и легированным нижним слоем 406 гомоэпитаксиальной пленки. Локальный нагрев до температуры выше 900°C приводит к химическому разложению кристалла нитрида галлия на газообразный азот и жидкий галлий в области 404. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 10 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной границе раздела 405, приводит к последовательному разложению нитрида галлия в наборе областей 404 и ослаблению границы раздела 405 между нелегированной полупроводниковой подложкой 101 и легированным нижним 406 слоем гомоэпитаксиальной пленки. Наклеивая затем нелегированный верхний слой гомоэпитаксиальной пленки 402 на временную металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить нелегированный верхний слой гомоэпитаксиальной пленки 402 с неиспарившейся частью нижнего легированного слоя 406 от

подложки 101.

Пример 4. Отделение нелегированного верхнего слоя гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия от нелегированной полупроводниковой подложки нитрида галлия с помощью лазерного луча, проходящего сквозь верхний слой гомоэпитаксиальной пленки, и поглощающегося в нижнем слое гомоэпитаксиальной пленки легированном мелкими донорными примесями.

На Фиг.5 представлена схема лазерного отделения нелегированного слоя гомоэпитаксиальной пленки 202 нитрида галлия, толщиной 100 мкм, от нелегированной полупроводниковой подложки 101 нитрида галлия, толщиной 2 мкм, с использованием легированного нижнего слоя 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, толщиной 1 мкм. Уровень легирования мелкими донорными примесями кремния в нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия составляет $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и превышает фоновую концентрацию мелких доноров кислорода и кремния в полупроводниковой подложке 101 и верхнем слое 402 гомоэпитаксиальной пленки, равный 10^{17} см^{-3} .

Для отделения гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия используется CO_2 лазер, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=10,6$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,1 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 100 герц.

Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм в нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, легированном мелкими донорными примесями кремния с концентрацией $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, равен $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, тогда как коэффициент поглощения этого излучения в нелегированной полупроводниковой подложке 101 нитрида галлия и в нелегированном верхнем слое 402 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, с фоновыми концентрациями мелких доноров кислорода и кремния, равными 10^{17} см^{-3} , равен $5 \cdot 10^1 \text{ см}^{-1}$.

Соответствующие спектральные зависимости коэффициента поглощения света вблизи области остаточных лучей, рассчитанные нами для полупроводниковых кристаллов нитрида галлия с различными уровнями легирования мелкими донорными примесями, приведены на Фиг.6. Кривые 601, 602 и 603 относятся к уровням легирования 10^{17} , 10^{18} и $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Как видно из схемы на Фиг.5, лазерный луч 203 проходит сквозь нелегированный верхний слой 402 эпитаксиальной пленки и фокусируется в пятно диаметром 1 мм, что обеспечивает плотность энергии 10 Дж/см^2 . Под действием сфокусированного в пятно диаметром 1 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного CO_2 лазера с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированном верхнем слое 402 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия и сильно поглощающегося в легированном мелкими донорными примесями нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия, происходит локальный нагрев нижнего слоя 406 гомоэпитаксиальной пленки в области 404, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с границей раздела 505 между нелегированным верхним слоем 402 и легированным нижнем слое 406 гомоэпитаксиальной пленки нитрида галлия. Локальный нагрев до температуры выше 900°C приводит к химическому разложению кристалла нитрида галлия на газообразный азот и жидкий галлий в области 404. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 10 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной границе раздела 405, приводит к последовательному разложению нитрида галлия в наборе областей 404 и ослаблению

5 границы раздела 506 между нелегированным верхним слоем 402 и легированным нижним слоем 406 гомоэпитаксиальной пленки. Наклеивая затем нелегированный верхний слой 402 гомоэпитаксиальной пленки на временную металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить нелегированный верхний слой 402 гомоэпитаксиальной пленки от неиспарившейся части нижнего слоя 406 и подложки 101.

10 Пример 5. Отделение нелегированной гомоэпитаксиальной пленки карбида кремния 4H-SiC от легированной мелкими донорными примесями полупроводниковой подложки карбида кремния 4H-SiC с помощью лазерного луча, проходящего сквозь гомоэпитаксиальную пленку.

15 На Фиг.3 представлена схема, лазерного отделения нелегированной гомоэпитаксиальной пленки 202 карбида кремния 6H-SiC, толщиной 100 мкм, от полупроводниковой подложки 101 карбида кремния 6H-SiC, толщиной 400 мкм. Фоновая концентрация мелких доноров в эпитаксиальной пленке 202 меньше чем 10^{17} см⁻³ и существенно меньше концентрации мелких донорных примесей азота в легированной полупроводниковой подложке 101, равной $5 \cdot 10^{19}$ см⁻³.

20 Для отделения гомоэпитаксиальной пленки карбида кремния 6H-SiC используется лазер на монооксиде углерода CO, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=5,2$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,4 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 10 герц. Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=5,2$ мкм в нелегированной гомоэпитаксиальной пленке 202 карбида кремния 6H-SiC, с фоновой концентрацией мелких доноров, меньшей чем 10^{17} см⁻³, составляет 10 см⁻¹ (А.М.Hofmeister, К.М.Pitman, А.Ф.Goncharov, and А.К.Speck The Astrophysical Journal, 696:1502-1516, 2009 May 10), тогда как коэффициент поглощения этого излучения в полупроводниковой подложке 101 карбида кремния 6H-SiC, легированной мелкими донорными примесями азота с концентрацией $5 \cdot 10^{19}$ см⁻³, превосходит 10^4 см⁻¹.

30 Как видно из схемы на Фиг.3, лазерный луч 203 проходит сквозь гомоэпитаксиальную пленку 202 и фокусируется в пятно диаметром 1 мм, что обеспечивает плотность энергии 50 Дж/см².

35 Под действием сфокусированного в пятно диаметром 1 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного лазера на монооксиде углерода CO с длиной волны $\lambda=5,2$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированной гомоэпитаксиальной пленке 202 карбида кремния 6H-SiC и сильно поглощающегося в легированной мелкими донорными примесями полупроводниковой подложке 101 карбида кремния 6H-SiC, происходит локальный нагрев подложки 101 в области 204, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с границей раздела 205 между легированной полупроводниковой подложкой 101 и нелегированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Локальный нагрев до температуры выше 2800°С приводит к химическому разложению карбида кремния 4H-SiC кристалла нитрида галлия на кремний и углерод в области 204. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 2 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной границе 205 раздела, приводит к последовательному разложению карбида кремния 4H-SiC в наборе областей 204 и ослаблению границы 205 раздела между легированной полупроводниковой подложкой 101 и нелегированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Наклеивая затем эпитаксиальную пленку 202 на временную

металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить эпитаксиальную пленку 202 от подложки 101.

5 Пример 6. Отделение слабо легированной гомоэпитаксиальной пленки кремния от сильно легированной мелкими акцепторными примесями бора полупроводниковой подложки кремния с помощью лазерного луча, проходящего сквозь гомоэпитаксиальную пленку.

10 На Фиг.3 представлена схема лазерного отделения слабо легированной гомоэпитаксиальной пленки 202 кремния, толщиной 50 мкм, от полупроводниковой подложки 101 кремния, толщиной 700 мкм. Концентрация мелких акцепторных примесей бора в гомоэпитаксиальной пленке 202 равна 10^{17} см^{-3} и существенно меньше концентрации мелких акцепторных примесей бора в легированной

15 полупроводниковой подложке 101, равной 10^{19} см^{-3} .
Для отделения гомоэпитаксиальной пленки кремния используется CO_2 лазер, работающий в режиме импульсной накачки на длине волны $\lambda=10,6$ мкм и генерирующий импульсы с энергией 0,1 Дж, длительностью 50 нс и частотой повторения 100 герц.

20 Коэффициент поглощения лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм в слабо легированной гомоэпитаксиальной пленке 202 кремния, с концентрацией мелких акцепторов, равной 10^{17} см^{-3} , составляет 12 см^{-1} (Hara, H. and Y.Nishi, J. Phys. Soc. Jpn 21, 6, 1222, 1966), тогда как коэффициент поглощения этого излучения в

25 полупроводниковой подложке 101 кремния, легированной мелкими акцепторными примесями бора с концентрацией 10^{19} см^{-3} , равен 3000 см^{-1} .
Как видно из схемы на Фиг.3, инфракрасный лазерный луч 203 проходит сквозь гомоэпитаксиальную пленку 202 и фокусируется в пятно диаметром 0,5 мм, что

30 обеспечивает плотность энергии 40 Дж/см^2 .
Под действием сфокусированного в пятно диаметром 0,5 мм инфракрасного лазерного луча 203, импульсного CO_2 лазера с длиной волны $\lambda=10,6$ мкм, слабо поглощающегося в нелегированной гомоэпитаксиальной пленке 202 кремния и сильно поглощающегося в легированной мелкими акцепторными примесями бора

35 полупроводниковой подложке 101 кремния, происходит локальный нагрев подложки 101 в области 204, определяемой пересечением инфракрасного лазерного луча 203 с границей раздела 205 между сильно легированной полупроводниковой подложкой 101 и слабо легированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Локальный

40 нагрев до температуры выше 1400°C приводит к частичному расплавлению и аморфизации кристалла кремния области 204. Перемещение фокуса лазерного луча 203 со скоростью 20 см/с в горизонтальной плоскости, параллельной границе раздела 205, приводит к последовательному расплавлению и аморфизации кристалла кремния в наборе областей 204 и ослаблению границы раздела 205 между сильно

45 легированной полупроводниковой подложкой 101 и слабо легированной гомоэпитаксиальной пленкой 202. Наклеивая затем гомоэпитаксиальную пленку 202 на временную металлическую, керамическую или пластиковую подложку и прилагая небольшое механическое или термомеханическое напряжение, можно отделить

50 эпитаксиальную пленку 202 от подложки 101.

Несмотря на то что настоящее изобретение было описано и проиллюстрировано примерами вариантов осуществления изобретения, необходимо отметить, что настоящее изобретение ни в коем случае не ограничено приведенными примерами.

Формула изобретения

1. Способ лазерного отделения эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки от ростовой подложки эпитаксиальной полупроводниковой структуры, характеризующийся тем, что:

- при выращивании эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки используют селективное легирование мелкими донорными или акцепторными примесями некоторых областей эпитаксиальной структуры, так что результирующая концентрация мелких примесей в селективно легированных областях существенно превосходит фоновую концентрацию в нелегированных областях,

- направляют сфокусированный лазерный луч на эпитаксиальную структуру так, что фокус луча расположен в селективно легированных областях эпитаксиальной структуры, в которых происходит поглощение лазерного излучения,

- перемещают лазерный луч с осуществлением сканирования фокусом луча селективно легированных областей эпитаксиальной структуры с частичным термическим разложением селективно легированных областей и уменьшением их механической прочности,

- после лазерного сканирования эпитаксиальную структуру наклеивают на временную подложку и отделяют эпитаксиальную пленку или слой эпитаксиальной пленки от ростовой подложки или ростовой подложки с частью эпитаксиальной пленки посредством приложения механического или термомеханического напряжения.

2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что эпитаксиальная пленка или слой эпитаксиальной пленки выращены методом гомоэпитаксии.

3. Способ по п.1, характеризующийся тем, что селективно легированной областью является подложка или поверхностный слой подложки.

4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что селективно легированной областью является эпитаксиальная пленка или нижний слой эпитаксиальной пленки.

5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводник из элемента четвертой группы Периодической таблицы элементов.

6. Способ по п.1, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов четвертой группы Периодической таблицы элементов.

7. Способ по п.1, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов третьей и пятой групп Периодической таблицы элементов.

8. Способ по п.1, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов второй и шестой групп Периодической таблицы элементов.

9. Способ по п.1, характеризующийся тем, что для отделения гомоэпитаксиальных пленок от ростовой подложки используют лазер с длиной волны, которая лежит в следующих диапазонах длин волн: для полупроводников кремния, германия и арсенида галлия в диапазоне $6 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 48 \text{ мкм}$, для нитрида галлия в диапазоне $4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 32 \text{ мкм}$, для карбида кремния $3 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 24 \text{ мкм}$, для нитрида алюминия в диапазоне $2,5 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 20 \text{ мкм}$ и для алмаза $2 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 16 \text{ мкм}$.

10. Способ по п.1, характеризующийся тем, что в качестве лазера используют инфракрасный газовый лазер с импульсной накачкой на двуокиси углерода CO_2 или монооксиде углерода CO .

11. Способ лазерного отделения эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки от ростовой подложки эпитаксиальной полупроводниковой структуры, характеризующийся тем, что:

- 5 - при выращивании эпитаксиальной пленки или слоя эпитаксиальной пленки используют селективное легирование мелкими донорными или акцепторными примесями некоторых областей эпитаксиальной структуры, так что результирующая концентрация мелких примесей в селективно легированных областях существенно превосходит фоновую концентрацию в нелегированных областях,
- 10 - наклеивают эпитаксиальную структуру на временную подложку,
- направляют сфокусированный лазерный луч на эпитаксиальную структуру так, что фокус луча расположен в селективно легированных областях эпитаксиальной структуры, в которых происходит поглощение лазерного излучения,
- 15 - перемещают лазерный луч с осуществлением сканирования фокусом луча селективно легированных областей эпитаксиальной структуры с частичным термическим разложением селективно легированных областей и уменьшением их механической прочности,
- отделяют эпитаксиальную пленку или слой эпитаксиальной пленки от ростовой подложки или ростовой подложки с частью эпитаксиальной пленки посредством приложения механического или термомеханического напряжения.

12. Способ по п.11, характеризующийся тем, что эпитаксиальная пленка или слой эпитаксиальной пленки выращены методом гомоэпитаксии.

25 13. Способ по п.11, характеризующийся тем, что селективно легированной областью является подложка или поверхностный слой подложки.

14. Способ по п.11, характеризующийся тем, что селективно легированной областью является эпитаксиальная пленка или нижний слой эпитаксиальной пленки.

30 15. Способ по п.11, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводник из элемента четвертой группы Периодической таблицы элементов.

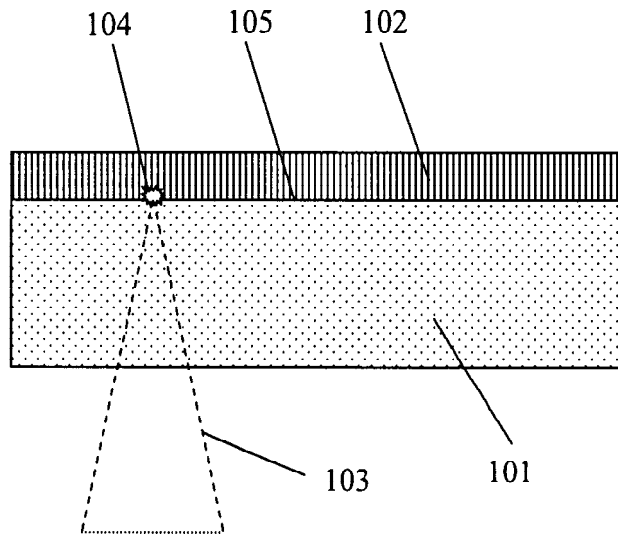
16. Способ по п.11, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов четвертой группы Периодической таблицы элементов.

35 17. Способ по п.11, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов третьей и пятой групп Периодической таблицы элементов.

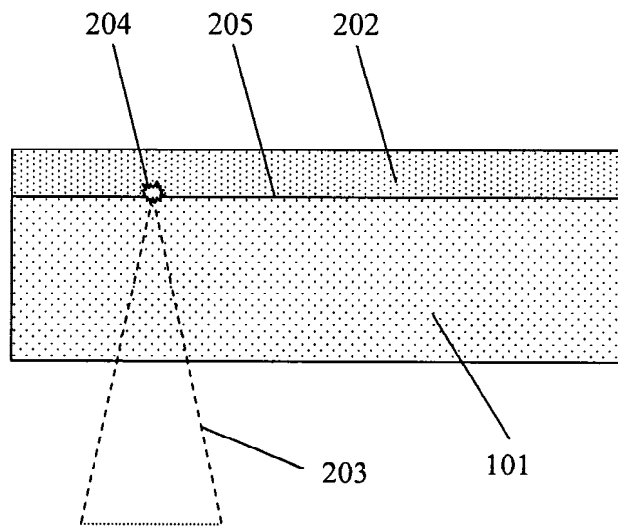
40 18. Способ по п.11, характеризующийся тем, что материалом эпитаксиальной структуры является полупроводниковое соединение из элементов второй и шестой групп Периодической таблицы элементов.

19. Способ по п.11, характеризующийся тем, что для отделения гомоэпитаксиальных пленок от ростовой подложки используют лазер с длиной волны, которая лежит в следующих диапазонах длин волн: для полупроводников кремния, германия и арсенида галлия в диапазоне $6 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 48 \text{ мкм}$, для нитрида галлия в диапазоне $4 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 32 \text{ мкм}$, для карбида кремния $3 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 24 \text{ мкм}$, для нитрида алюминия в диапазоне $2,5 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 20 \text{ мкм}$ и для алмаза $2 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 16 \text{ мкм}$.

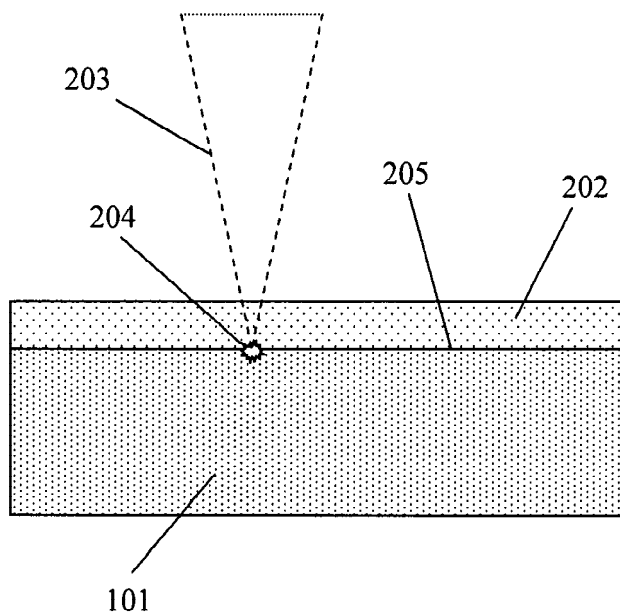
50 20. Способ по п.11, характеризующийся тем, что в качестве лазера используют инфракрасный газовый лазер с импульсной накачкой на двуокиси углерода CO_2 или монооксиде углерода CO .



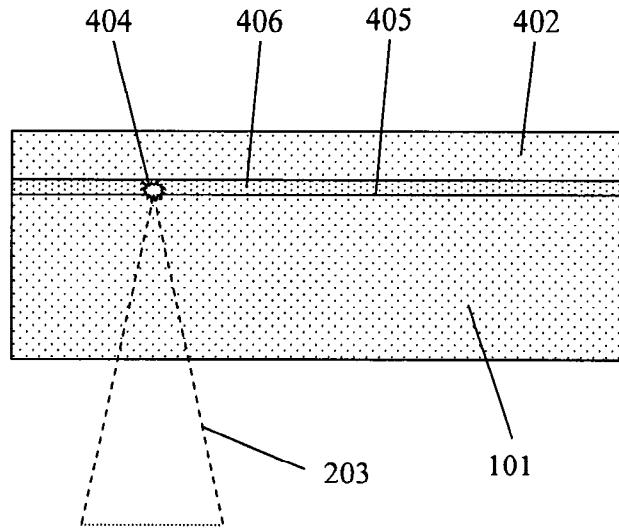
Фиг. 1



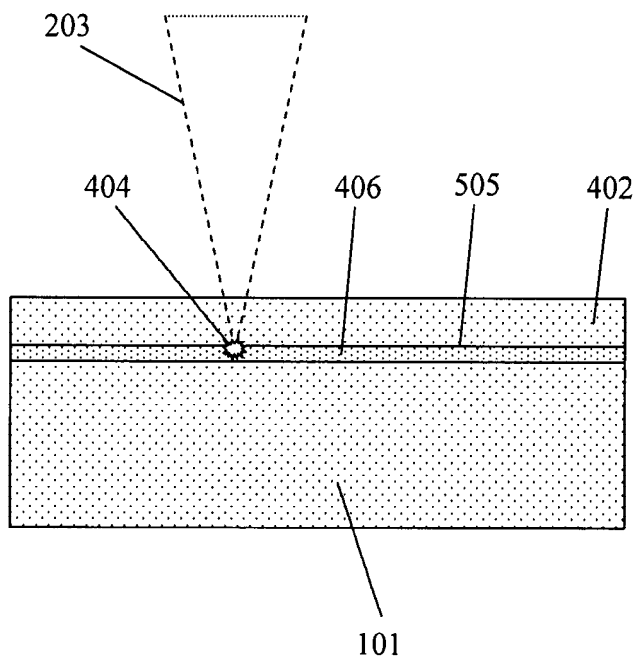
Фиг. 2



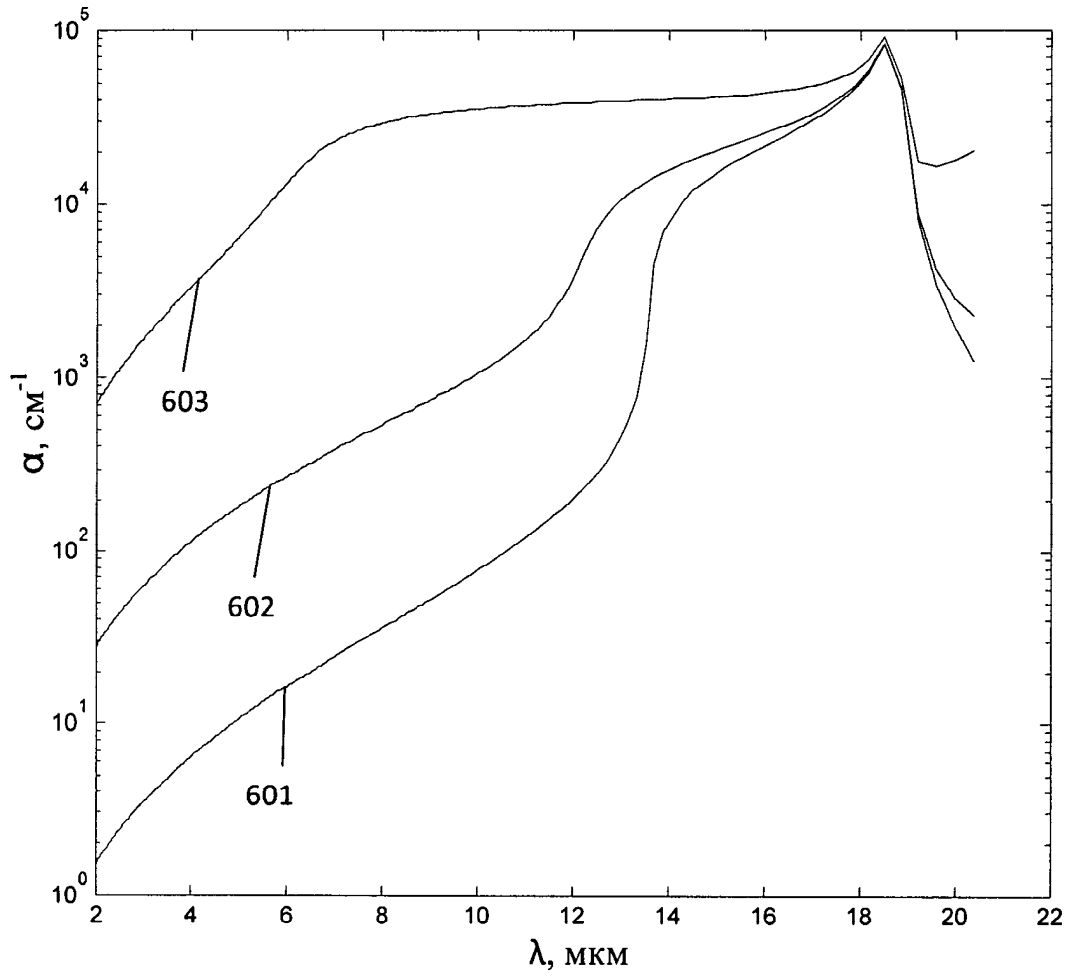
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6