

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



(43) Дата международной публикации:
7 марта 2002 (07.03.2002)

(10) Номер международной публикации:
WO 02/19483 A2

(51) Международная патентная классификация⁷:
H01S 5/00

PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(21) Номер международной заявки: PCT/RU01/00291

(84) Указанные государства (регионально): ARIPO патент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), патент OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(22) Дата международной подачи:
16 июля 2001 (16.07.2001)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:
2000122627 30 августа 2000 (30.08.2000) RU

Декларации в соответствии с правилом 4.17:

Касающаяся права заявителя подавать заявку на патент и получать его (правило 4.17 (ii)) для следующих указанных государств: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO патент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), патент OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Об авторстве изобретения (правило 4.17 (iv)) только для US.

(71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме (US): ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «ПОЛЮС» [RU/RU]; 117342 Москва, ул. Введенского, д. 3 (RU) [FEDERALNOE GOSUDARSTVENNOE UNITARNOE PREDPRIYATIE NAUCHNO-ISLEDOVATELSKY INSTITUT «POLYUS», Moscow (RU)].

(71) Заявитель и

(72) Изобретатель: ЧЕЛНЬИЙ Александр Александрович [RU/RU]; 123098 Москва, ул. Гамалеи, д. 23, корп. 1, кв. 59 (RU) [CHELNYIY, Aleksander Aleksandrovich, Moscow (RU)].

(74) Агент: КУРЕННАЯ Оксана Николаевна; 119121 Москва, 1-й Неопалимовский пер., д. 3/10, кв. 19 (RU) [KURENNAYA, Oksana Nikolaevna, Moscow (RU)].

Опубликована

Без отчёта о международном поиске и с повторной публикацией по получении отчёта.

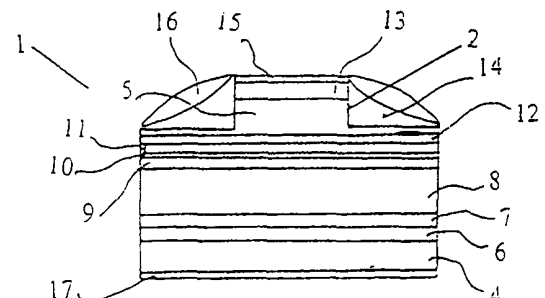
(81) Указанные государства (национально): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL,

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и других сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям», публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюллетеня РСТ.

(54) Title: METHOD FOR INCREASING LASER MODULATION BANDWIDTH

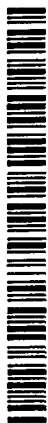
(54) Название изобретения: СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ ЛАЗЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

(57) Abstract: The inventive method relates to the regulation of the laser modulation bandwidth of injection lasers, in particular dynamic single-mode modulation lasers and single frequency lasers by modifying a doping of confining doped underlayers of a maximal optical confinement nearest to an active layer and by regulating a ratio between a P concentration of holes in the underlayer of the maximal optical confinement of the p-type conductivity from the p-type side and an N concentration of electrons in the underlayer of the maximal optical confinement from the n-type side (P/N ratio).



[Продолжение на след. странице]

WO 02/19483 A2





The P concentration is chosen from a range between $4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, and the N concentration is chosen from a range between $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, the P/N ratio being greater than one. In addition, the following conditions shall be fulfilled: a background impurity level is maintained between the confining doped underlayers of the maximal optical confinement which are nearest to the active layer, including the active layer itself; edges of a p-i-n space charge of a heterojunction are arranged in the confining doped underlayers of the maximal optical confinement.

(57) Реферат:

Предложен способ регулирования диапазона рабочих частот лазерной модуляции инжекционных лазеров, преимущественно высокочастотных, одномодовых, одночастотных, путем изменения легирования ограничительных легированных подслоев наибольшего оптического ограничения, ближайших к активному слою, регулируя отношение концентрации дырок P в подслое наибольшего оптического ограничения p-типа электропроводимости со стороны p-типа к концентрации электронов N в подслое наибольшего оптического ограничения n-типа электропроводимости со стороны n-типа, P/N, выбирая концентрации P в диапазоне от $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а концентрации N в диапазоне от $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и чтобы соотношение P/N было более единицы. При этом обеспечивают выполнение необходимых условий: между ограничительными легированными подслоями наибольшего оптического ограничения, ближайшими к активному слою, в том числе в активном слое, имеется уровень фоновой примеси и границы объёмного заряда p-i-n гетероперехода расположены в ограничительных легированных подслоях наибольшего оптического ограничения.

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ ЛАЗЕРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Область техники

Настоящее изобретение относится к квантовой электронной технике, а именно, к способам, обеспечивающим регулирование полосы лазерной модуляции эффективных, высокомоощных полупроводниковых инжекционных лазеров, в том числе с одномодовым, одночастотным излучением.

Предшествующий уровень техники

Одной из важнейших проблем является получение инжекционных лазеров (далее «Лазер») с расширенной полосой частот лазерной модуляции как с широкой излучающей областью, так и узкополосных, работающих в одночастотном, одномодовом режимах.

Для получения высокой мощности, излучаемой в одну продольную моду, необходимо изготовить высокоэффективный излучатель с низкой плотностью порогового тока и высокой дифференциальной квантовой эффективностью. Кроме того, такой излучатель должен обеспечивать эффективное подавление соседних продольных мод.

Для улучшения модового состава излучения разработаны различные типы инжекционных лазеров: инжекционные лазеры с полосковой активной областью генерации и выводом излучения через зеркало оптического резонатора [Физика полупроводниковых лазеров, п./р. Х.Такумы, М., «Мир», 1989, гл.6, сс. 18-19; S.S. Ou et al., Electronics Letters (1992), v.28, No.25, pp.2345-2346], инжекционные лазеры с распределенной обратной связью (далее «РОС-структура») [Handbook of Semiconductor Lasers and Photonic integrated circuits, edited by Y.Suematsu and A.R. Adams, «Chapman-Hill», London, 1994, pp. 44-45, 393-417], инжекционные лазеры с зеркалами Брегга [Физика полупроводниковых лазеров, п./р. Х.Такумы, М., «Мир», 1989, гл.6, сс. 145-148]. Известные инжекционные лазеры позволяют получить одномодовое, одночастотное излучение.

Инжекционные лазеры с одночастотным и одномодовым излучением могут быть выполнены на различных гетероструктурах. В настоящее время наибольшее распространение получили гетероструктуры с отдельным ограничением (далее «РОДГС») с квантовыми ямами (т.е. с квантово-размерными активными слоями, и квантово-размерными барьерными слоями между ними). Весьма актуальным является разработка способов получения гетероструктур для изготовления из них, в дальнейшем высокомоощных инжекционных лазеров с расширенной полосой лазерной модуляции, в том числе работающих на одной продольной моде.

Наиболее близким является способ увеличения диапазона рабочих частот лазерной модуляции [Патент США 4706253 (GTE LABORATORIES INC.), 10.11.1987, 372/44, H01S 3/19], который включает создание гетероструктуры с активным слоем и прилегающими к нему с двух сторон ограничительными слоями, включающими с каждой стороны по крайней мере по одному ограничительному подслою наибольшего оптического ограничения (далее «НООгр»), имеющих противоположные типы электропроводности.

В известном способе, описанном в [Патент США 4706253 (GTE LABORATORIES INC.), 10.11.1987, 372/44, H01S 3/19], для увеличения диапазона рабочих частот лазерной модуляции при выращивании гетероструктуры весьма высоко легируют активную область - по крайней мере около $2,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, при выборе активного слоя преимущественно состава $\text{Ga}_{0,27}\text{In}_{0,73}\text{As}_{0,59}\text{P}_{0,41}$. Получено улучшение частотных характеристик инжекционных лазеров.

Авторами [Патент США 4706253 (GTE LABORATORIES INC.), 10.11.1987, 372/44, H01S 3/19] не были исследованы инжекционные лазеры с узкополосными областями усиления.

Раскрытие изобретения

В основу изобретения поставлена задача создания способа регулирования диапазона рабочих частот лазерной модуляции, который обеспечивает при высокочастотной модуляции сужение спектра генерации широкополосных инжекционных лазеров и стабилизацию длины волны одночастотных инжекционных лазеров, работающих при повышенных выходных мощностях излучения.

В соответствии с изобретением поставленная задача решается тем, что предложен способ регулирования диапазона рабочих частот лазерной модуляции, включающий создание гетероструктуры с активным слоем и прилегающими к нему с двух сторон ограничительными слоями, включающими с каждой стороны по крайней мере по одному ограничительному подслою наибольшего оптического

ограничения (далее «НООгр»), имеющих противоположные типы электропроводимости, причем между ограничительными легированными подслоями НООгр, ближайшими к активному слою, в том числе в активном слое, обеспечивают уровень фоновой примеси, ограничительные легированные подслои НООгр, ближайшие к активному слою, легируют так, чтобы регулируемое отношение концентрации дырок Р в подслое НООгр р-типа электропроводимости со стороны р-типа к концентрации электронов N в подслое НООгр n-типа электропроводимости со стороны n-типа, Р/N, было более единицы, причем изменяют соотношение Р/N, выбирая концентрации Р в диапазоне от $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а концентрации N в диапазоне от $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, при этом обеспечивают расположение границ объёмного заряда р-і-n гетероперехода в ограничительных легированных подслоях НООгр.

Отличием предложенного способа регулирования диапазона рабочих частот лазерной модуляции инжекционных лазеров (далее «Лазер») является необычный и неочевидный выбор соотношений между концентрациями легирующих примесей (акцепторной и донорной) в ограничительных слоях НООгр (далее «НООгр») с двух сторон от активного слоя на границах объёмного заряда р-і-n гетероперехода. Другим отличием является то, что объёмный заряд р-і-n гетероперехода должен распространяться на весь активный слой и на прилегающие к нему части ограничительных слоев с обеих сторон так, что границы объёмного заряда р-і-n гетероперехода расположены обязательно в соответствующих легированных ограничительных подслоях НООгр, что может быть достигнуто при выполнении условия создания уровня фоновой примеси между указанными соответствующими легированными ограничительными подслоями НООгр. Под введенным определением ограничительного подслоя как подслоя «наибольшего оптического ограничения» («НООгр») понимается то, что в этом подслое, ближайшем к активному слою, происходит наибольшее затухание генерируемого излучения, препятствующее распространению излучения вглубь гетероструктуры. Как показало большое число экспериментов, именно указанные отличия предложенного Лазера обеспечили решение поставленной технической задачи. Полная указанная совокупность существенных отличительных признаков нами не была обнаружена на настоящее время.

При этом определено, что наилучшие результаты могут быть достигнуты в следующих случаях:

Уровень фоновой примеси обеспечивают менее $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Низкая концентрация фоновой примеси в активном слое и в прилегающих нелегированных слоях и/или подслоях обеспечивает распространение объёмного заряда р-і-n

гетероперехода на всю толщину нелегированных слоев и подслоев, причем чем ниже концентрация фоновой примеси, тем толще могут быть выбраны нелегированные слои и подслои.

Величину P/N выбирают в диапазоне от 3 до 20. Экспериментально было получено, что с ростом P/N увеличивается ширина полосы модуляции приборов, т.е. имеется возможность регулировки диапазона рабочих частот лазерной модуляции. При этом сужается спектр генерации, а также стабилизируется длина волны одночастотного Лазера. Кроме того, происходит стабилизация генераций в одночастотном режиме, повышается мощность генерации на одной продольной моде (в одночастотном режиме).

В ограничительном легированном подслое HOGr p -типа электропроводимости концентрацию акцепторной примеси выбирают превышающей $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Увеличение концентрации акцепторной примеси при указанном диапазоне донорной примеси обеспечивает высокие значения отношения P/N , преимущественно $P/N > 2$.

Кроме того, при преимущественных концентрациях акцепторной примеси повышается внешняя дифференциальная квантовая эффективность приборов, а также улучшается температурная зависимость порогового тока. Это происходит за счет уменьшения утечки электронов из активного слоя в ограничительные подслои HOGr p -типа электропроводимости при увеличении концентрации основных носителей в нем. При выбираемых преимущественных значениях концентрации донорной примеси обеспечивается сравнительно низкое сопротивление в ограничительных подслоях HOGr . Высокие значения отношения $P/N > 2$ также обеспечивают достаточную контактную разность потенциалов между ограничительными подслоями HOGr противоположного типа электропроводимости для получения инверсной населенности в активном слое Лазера при прямом смещении.

Очень важным моментом является то, что наряду с наличием высокого значения отношения $P/N > 1$ область объемного заряда должна образовываться сильнолегированными подслоями HOGr , т.е. границы области объемного заряда должны лежать в этих подслоях. Это и обеспечивается выбором уровня фоновой примеси (преимущественно указанного выше диапазона) в слоях и/или подслоях между сильнолегированными ограничительными подслоями HOGr . В известной гетероструктуре (см. [Патент США 4679199 (GTE LABORATORIES INC.), 07.07.1987, 372/44, H01S3/19]), сильнолегированный подслоем HOGr отделен от активного слоя относительно слаболегированным подслоем HOGr . В результате

сильнолегированный подслой не участвует в образовании объёмного заряда p-i-n гетероперехода и задача, решенная в настоящем изобретении, в указанной известной работе (см. [Патент США 4679199 (GTE LABORATORIES INC.), 07.07.1987, 372/44, H01S3/19]) не могла быть решена. Поэтому является важным, чтобы предполагаемая конструкция гетероструктуры не была искажена диффузионным размытием или перемещением границ гетеропереходов и границ легирования донорными или акцепторными примесями. Особенно это касается последнего случая, так как акцепторные примеси имеют обычно высокий коэффициент диффузии в полупроводниках $A^{III}B^V$.

Экспериментально подтверждено, что при этом наблюдается дальнейшее сужение спектра генерации, а также улучшение стабилизации длины волны одночастотного Лазера при высокой выходной мощности.

Предложено для решения поставленной задачи по крайней мере в одном ограничительном слое со стороны активного слоя, примыкая к ограничительному легированному подслою НООгр, разместить того же состава ограничительный нелегированный подслой НООгр, толщиной, превышающей толщину диффузии примеси из ограничительного легированного подслоя НООгр, и не более толщины d_{np} , равной части толщины области объёмного заряда p-i-n гетероперехода, приходящейся на ограничительный нелегированный подслой НООгр, т.е. на этот нелегированный подслой должен распространяться объёмный заряд p-i-n гетероперехода.

В одном случае предложено толщину d_{np} выбирать равной толщине D_{O3} области объёмного заряда p-i-n гетероперехода за вычетом суммы, составленной из толщины d_N области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое НООгр n-типа электропроводимости, толщины d_p области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое НООгр p-типа электропроводимости, толщины d_{ac} активного слоя.

В другом случае предложено толщину d_{np} выбирать равной толщине D_{O3} области объёмного заряда p-i-n гетероперехода за вычетом суммы, составленной из толщины d_N области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое НООгр n-типа электропроводимости, толщины d_p области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое НООгр p-типа электропроводимости, толщины d_{ac} активного слоя и толщины d_{dp} дополнительных ограничительных подслоев между активным слоем и ограничительными подслоями НООгр.

Величины D_{O3} , d_N , d_p , d_{ac} , в одном случае и величины D_{O3} , d_N , d_p , d_{ac} , d_{dp} в другом случае для каждой конкретной гетероструктуры могут быть рассчитаны по известным соотношениям (см., например, [П.Г. Елисеев «Введение в физику

инжекционных лазеров», М. «Наука», 1983, сс.156-162; Х. Кейси, М. Паниш «Лазеры на гетероструктурах», Мир, Москва, 1981, сс.228-281]) и, следовательно, могут быть определены требуемые значения толщины d_{np} объемного заряда в ограничительном нелегированном подслое НООгр. Следовательно, для каждой конкретной гетероструктуры можно рассчитать требуемую толщину ограничительного нелегированного подслоя НООгр.

Эмпирически определено, что увеличение диапазона рабочих частот лазерной модуляции зависит не только от отношения P/N, но также и от толщины нелегированного ограничительного подслоя НООгр. Определено, что наилучшие результаты могут быть достигнуты в случае, когда ограничительный нелегированный подслой НООгр выполнен толщиной, выбранной в диапазоне от 0,1 мкм до 1,0 мкм. При этом в упомянутом ограничительном нелегированном подслое НООгр следует обеспечить уровень фоновый примеси, равный концентрации менее $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Поставленная задача решена в случае, если ограничительный нелегированный подслой НООгр может быть введен только со стороны ограничительного легированного подслоя НООгр того же состава р-типа электропроводимости.

Предложенный Лазер может быть реализован на различных гетероструктурах, в том числе на двойных гетероструктурах с РОДГС, на квантово-размерных.

Поставленная задача решается также тем, что по крайней мере в одном ограничительном слое, примыкая к активному слою, размещен волноводный подслой. В указанном волноводном подслое обеспечивают уровень фоновой примеси преимущественно с концентрацией менее $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. С другой стороны волноводный подслой может граничить с соответствующим ограничительным легированным подслоем НООгр или с соответствующим ограничительным нелегированным подслоем НООгр. При этом получаем РОДГС, с волноводной областью, которая включает активный слой и волноводные подслои для преимущественного распространения по ним усиливаемого излучения.

Поставленная задача решается также тем, что активный слой сформирован по крайней мере из одного подслоя.

В одном из случаев активный слой может быть выполнен в виде одного квантово-размерного активного подслоя.

В другом случае активный слой может быть сформирован по крайней мере из трех квантово-размерных подслоев, а именно, из по крайней мере двух активных квантово-размерных подслоев и по крайней мере одного барьерного квантово-размерного подслоя, помещенного между упомянутыми двумя активными квантово-

размерными подслоями, причем в общем случае при множестве квантово-размерных подслоев любые два активных квантово-размерных подслоя разделены барьерным квантово-размерным подслоем.

Предложенный Лазер может быть реализован в различных модификациях как с широкой излучающей полоской, так и узкой, менее 3 мкм, для получения одномодового и одночастотного режимов работы.

Поставленная задача решается тем, что область усиления выбрана полосковой. Предложены различные случаи реализации, а именно:

в гетероструктуру введены барьерные области;

указанными барьерными областями образована по крайней мере одна мезаполоска, причем в одном случае барьерные области выполнены на глубину, превышающую глубину расположения активного слоя, в другом случае барьерные области выполнены так, что основание мезаполоски размещено над активным слоем на расстоянии от 0,2 мкм до 0,8 мкм;

по крайней мере один из подслоев ограничительного слоя может быть сформирован с профильной поверхностью и по крайней мере активный слой повторяет данный профиль; в такой гетероструктуре могут быть помещены барьерные области.

Кроме того, для достижения одночастотного и одномодового режимов работы предложено сформировать РОС - структуру либо выполнить в плоскости активного слоя зеркала Брегга.

Во всех предложенных случаях поставленная техническая задача решена, если ограничительный легированный подслой со стороны р-типа электропроводимости легирован цинком, или магнием, или кадмием, или берилием.

В одной из модификаций Лазера для решения поставленной задачи предложена гетероструктура, которая сформирована из

- буферного слоя GaAs, легированного Si с концентрацией N_1 , выбранной в диапазоне не менее $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и не более $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$,

- п-типа электропроводимости ограничительного легированного подслоя $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ градиентного состава от x_1 , выбранного из диапазона более нуля и не более 0,05 до x_2 , выбранного из диапазона не менее 0,47 и не более 0,53, толщиной d_2 , выбранной до 1 мкм и легированного Si с концентрацией N_2 , выбранной в диапазоне не менее $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и не более $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$,

- п-типа электропроводимости ограничительного легированного подслоя $\text{HOGr Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{As}$, при x_3 выбранном из диапазона 0,4...0,53, легированного Si с концентрацией N , выбранной в диапазоне не менее $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и не более $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ толщиной d_3 , выбранной в диапазоне 1,5 мкм ... 3 мкм,

- нелегированных подслоев с уровнем легирования фоновых примесей, выбранных в диапазоне от $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ до $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, включающих
 - первый волноводный подслой $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{As}$ при x_4 выбранном в диапазоне 0,25...0,35, толщиной d_4 , выбранной в диапазоне 0,05 мкм ... 0,2 мкм,
 - первый активный подслой GaAs толщиной d_5 , выбранной в диапазоне 5 нм ... 12 нм,
 - барьерный подслой $\text{Al}_{x_5}\text{Ga}_{1-x_5}\text{As}$ при x_5 выбранном в диапазоне 0,25...0,35, толщиной d_6 , выбранной в диапазоне 10 нм...15 нм,
 - второй активный подслой GaAs, толщиной d_7 , идентичен первому активному подслою и d_7 равна d_5 ;
 - второй волноводный подслой $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{As}$, толщиной d_8 , идентичен первому волноводному подслою и d_8 равна d_4 ,
- нелегированного ограничительного подслоя НООгр состава $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{As}$ (состава n-типа ограничительного слоя НООгр) толщиной d_9 , выбранной в диапазоне 0,1 мкм ... 1 мкм,
- p-типа электропроводимости ограничительного подслоя НООгр состава $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{As}$ (того же состава, который имеют ограничительные подслои НООгр n-типа электропроводимости и нелегированный) акцепторной примесью до концентрации P , выбранной в диапазоне $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, толщиной d_{10} , выбранной в диапазоне 1,5 мкм ... 0,7 мкм,
- контактного слоя p^+ -GaAs с концентрацией P_1 , выбранной в диапазоне $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и толщиной d_{11} , выбранной в диапазоне 0,2 мкм ... 0,5 мкм.

Заметим, что наличие градиентного слоя не принципиально. Он может отсутствовать. Кроме того, при увеличении толщины нелегированного ограничительного подслоя НООгр может быть соответственно уменьшена толщина легированного подслоя НООгр примесью p-типа так, чтобы сохранить необходимую суммарную расчетную толщину ограничительных подслоев НООгр, толще которой выполнять ограничительные подслои НООгр не целесообразно.

Нами определено, что предложенный способ увеличения диапазона рабочих частот лазерной модуляции может быть реализован не только в описанной модификации, но также на других полупроводниковых материалах, для различных диапазонов длин волн излучения.

Существом настоящего изобретения является оригинальный выбор отличительных существенных признаков, которые не являются очевидными.

Не очевидность состоит в необычном выявленном соотношении концентраций P/N легирующих примесей в легированных ограничительных подслоях НООгр противоположного типа электропроводимости, а также в требовании

распространения области объёмного заряда на всю ширину слоев и подслоев между ограничительными легированными подслоями НООгр, ближайшими к активному слою так, чтобы границы объёмного заряда находились в ограничительных легированных подслоях НООгр. Не очевидность также состоит в том, что введен нелегированный ограничительный подслой НООгр (примыкающий к легированному ограничительному подслою НООгр) толщиной, равной части толщины области объёмного заряда, равной $d_{нп}$. Определено, что путем предложенных изменений конструкции Лазера, соответствующих указанным существенным отличительным признакам способа, можно регулировать ширину полосы рабочих частот лазерной модуляции.

Совокупность существенных отличительных признаков предложенного способа в соответствии с формулой изобретения определила его основные достоинства: обеспечение при высокочастотной модуляции сужения спектра генерации широкополосного Лазера и стабилизации длины волны одночастотного Лазера, работающего при повышенных выходных мощностях излучения.

Техническая реализация изобретения основана на известных базовых технологических процессах, которые к настоящему времени хорошо разработаны и широко применяются при изготовлении Лазеров. Предложенный настоящим изобретением способ могут быть реализован по крайней мере для всех известных в настоящее время диапазонов длин волн лазерного излучения и на всех известных в настоящее время гетероструктурных системах.

Краткое описание чертежей

Настоящее изобретение поясняется чертежами, изображенными на Фиг. 1 - 8.

На Фиг. 1 схематично изображено продольное сечение Лазера с полосковой областью генерации излучения, выполненной в виде мезаструктуры.

На Фиг.2 схематично изображено продольное сечение конкретной гетероструктуры.

На Фиг.3 изображен график распределения акцепторной примеси в указанной конкретной гетероструктуре.

На Фиг.4 изображены графики зависимости ширины полосы модуляции по уровню -3 дБ от излучаемой мощности для Лазеров, изготовленных из гетероструктур, характеризующихся различными отношениями P/N.

На Фиг.5 изображена Ватт-Амперная характеристика Лазера.

На Фиг.6 изображен график зависимости предельной мощности $W_{пред}$ в одночастотном режиме от концентрации дырок в ограничительных подслоях

наибольшего оптического ограничения, легированных акцепторной примесью, при концентрации электронов $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ в ограничительных подслоях наибольшего оптического ограничения, легированных донорной примесью.

На Фиг.7 изображена диаграмма направленности Лазера в плоскости, параллельной плоскости p-i-n гетероперехода при разных уровнях выходной мощности.

На Фиг.8 изображен спектр излучения Лазера при разных уровнях выходной мощности.

Варианты осуществления изобретения

В дальнейшем изобретение поясняется описанием конкретных исполнений со ссылками на прилагаемые чертежи и графики на Фиг.1 - 8. Приведенные примеры не являются единственными.

Одна из модификаций реализации предлагаемого способа увеличения диапазона рабочих частот лазерной модуляции представляет собой Лазер 1, схематично изображенный на Фиг.1, в котором сформирована мезаполосковая область (мезаполоска) 2.

Данная модификация Лазера 1 выполнена из гетероструктуры 3 типа РОДГС с двумя квантовыми ямами (схематично изображена на Фиг.1 и 2), которые изготавливали МОС-гидридным методом (или «metal organic chemical vapor deposition» ("MOCVD"); МОС – металлоорганические соединения).

В качестве подложек 4 использовали пластины арсенида галлия, выращенного методом горизонтальной направленной кристаллизации, с концентрацией носителей $N_n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

В гетероструктуре 3 были выполнены p-типа ограничительные подслои НООгр 5 с различной концентрацией носителей Р, изменяемой в диапазоне от $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Конкретные значения концентрации носителей Р для примеров 1 - 6 указаны в Таблице на с.16 настоящего описания. На подложке 4 была выращена следующая последовательность слоев: буферный слой 6 GaAs:Si с концентрацией носителей N_1 , равной $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; n-типа электропроводимости ограничительный подслой 7 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ градиентного состава по x, изменяемого в диапазоне от x_1 , равного 0,05 до x_2 , равного 0,47, толщиной d_2 , равной 0,5 мкм; n-типа электропроводимости ограничительный подслой НООгр 8 $\text{Al}_{0,47}\text{Ga}_{0,53}\text{As:Si}$ с концентрацией носителей N, равной $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ толщиной d_3 , равной 2,5 мкм; первый волноводный подслой 9 $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ толщиной d_4 , равной 0,15 мкм; активный слой 10, состоящий из следующих подслоев (подслои активного слоя 10 на фигурах не

показаны): первый активный подслой GaAs толщиной d_5 , равной 8 нм, барьерный подслой $Al_{0,30}Ga_{0,7}As$ толщиной d_6 , равной 15 нм, второй активный подслой GaAs толщиной d_7 , равной 8 нм; после активного слоя 10 выращивали второй волноводный подслой 11 $Al_{0,3}Ga_{0,7}As$ толщиной d_8 , равной 0,15 мкм; нелегированный ограничительный подслой НООгр 12 $Al_{0,47}Ga_{0,53}As:Zn$ толщиной d_9 , равной 0,3 мкм; р-типа электропроводимости ограничительный подслой НООгр 5 $Al_{0,47}Ga_{0,53}As:Zn$ с концентрацией носителей P , указанной в Таблице, толщиной d_{10} , равной 1,7 мкм; контактный слой 13 p^+ -GaAs с концентрацией носителей P_1 , равной $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, толщиной d_{11} , равной 0,5 мкм. Концентрации носителей в слоях гетероструктуры, а также состав пленок контролировали на CV-профайлере Polaron 4200. Толщины слоев контролировали с помощью оптического и сканирующего электронного микроскопа.

Мезаполоску 2 одномодового Лазера 1 изготавливали методом ионно-химического травления. Ширина мезаполоски 2 в области контактного слоя 13 составляла 3 мкм. Для получения устойчивой генерации на основной моде расстояние от активного слоя 10 до нижнего края мезаполоски 2 задавали $0,2 \pm 0,3$ мкм. Таким образом глубина травления мезаполоски 2 была чуть более 2 мкм. Токовое и оптическое ограничение создавали в соответствии с [Патент РФ 1831213 (ФГУП НИИ «ПОЛЮС»), 22.08.90, Н01S 3/19] зарощиванием мезаполоски 2 слоем 14 высокоомного ZnSe. На поверхность зарощенной таким образом гетероструктуры 3 наносили (по [Патент РФ 1831213 (ФГУП НИИ «ПОЛЮС»), 22.08.90, Н01S 3/19]) омические контакты 15 Ti/Ni/Au и гальванические подушки 16 золота для планаризации поверхности. После утонения на пластину со стороны подложки 4 наносили омические контакты 17 Ge/Au. Далее пластину скалывали на кристаллы с длиной резонатора от 200 до 1000 мкм, которые паяли на медный теплоотвод (на фигурах не показано) с помощью индиевого припоя для получения лазерных диодов (далее «ЛД»). Перед монтажом на теплоотвод на грани ЛД в специальных случаях также напыляли диэлектрические многослойные покрытия (на фигурах не показано) с коэффициентами отражения 7...10% и 95 % для передней и задней граней, соответственно.

В Таблице на с.16 представлены основные характеристики гетероструктур 3 для шести примеров исполнения (столбцы 1 и 2): результаты исследований гетероструктур (столбцы 3 - 5) и результаты исследований ЛД (столбцы 6 - 11). Концентрация акцепторной примеси P , см^{-3} , в р-типа ограничительном подслое НООгр 5 записана в столбце 3 Таблицы. Концентрация донорной примеси N , см^{-3} , в n-типа ограничительном подслое НООгр 8 записана в столбце 4 Таблицы. Значения отношений P/N для указанных партий гетероструктур записаны в столбце 5. Все

гетероструктуры имели одинаковый волновод, характеризуемый одинаковыми оптическими потерями α (см. Таблицу, столбец 6). Наибольшая величина выходной мощности, до которой наблюдалась одночастотная генерация, названа предельной $W_{\text{пред}}$, мВт (см. столбец 7). Значения дифференциальной квантовой эффективности 2η , Вт/А, записаны в столбце 8, в столбце 9 - значения T_0 - характеристической температуры порогового тока, град К, и в столбце 10 - значения η_0 - внутреннего квантового выхода стимулированного излучения, %, и в столбце 11 - значения β , см·мкм/А - постоянной усиления.

Распределение акцепторной примеси в данных гетероструктурах 3 показано на примере гетероструктуры партии №541 (см. пример 5 Таблицы и Фиг.3). Наблюдаются четкие границы изменения степени концентрации акцепторной примеси P , см⁻³. Полученный уровень легирования фоновыми примесями n-типа пленок GaAs составлял $2 \cdot 10^{15}$ см⁻³, а пленок AlGaAs - $6 \cdot 10^{15}$ см⁻³. Следовательно, в данных гетероструктурах объёмный заряд p-i-n гетероперехода формировался сильнолегированными подслоями НООгр 8 и 5 n- и p-типа электропроводимости, соответственно.

Все ЛД излучали на длине волны 850 ± 10 нм и имели одинаковую геометрию резонатора при длине резонатора L , равной 600 мкм.

Наилучшие результаты наблюдали в Лазерах 1 примера 5 (партия №541).

Частотные характеристики ЛД были исследованы на гетероструктурах 3 примеров 1 - 6. ЛД были изготовлены с естественными гранями и длиной резонатора L , равной 400 мкм. Измерения проводили в стандартном корпусе диаметром 9 мм типа SOT-148. Специальных мероприятий по снижению ёмкости и индуктивности не проводилось. На графике видно, что для зависимости «18», т.е. Лазера 1 из гетероструктуры 3 партии №541 - P/N равно 6,5, для зависимости «19», т.е. Лазера 1 из гетероструктуры 3 партии №253 - P/N равно 0,4. Следовательно, увеличение отношения P/N приводит к увеличению полосы модуляции ЛД. Наблюдали сужение спектра генерации при высокочастотной модуляции на широкополосных излучателях и стабилизацию длины волны одночастотного излучения при высокочастотной модуляции для узкополосных ЛД. Для зависимости «20», т.е. Лазера 1 из гетероструктуры 3 партии №756 - P/N равно 1. Гетероструктура 3 партии №756 имела высокую концентрацию дырок P в p-типа ограничительном подслое НООгр - P , равную $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, но такую же высокую и концентрацию электронов N в n-типа ограничительном подслое НООгр - N , равную $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, т.е. имела отношение P/N , равным 1. При этом была получена примерно такая же ширина полосы модуляции, что и на ЛД с гетероструктурой 253, т.е. с отношением P/N , равным 0,4.

Как известно, ширина полосы модуляции определяется выражением:

$$BW = (\beta \cdot P / L)^{0,5}, \text{ где}$$

β - постоянная усиления, см · мкм / А,

P - мощность излучения, мВт,

L - длина резонатора, мкм.

Как видно из Таблицы (см. столбцы 5 и 11) увеличение отношения P/N приводит к росту постоянной усиления β от $2,1 \cdot 10^{-2}$ см·мкм / А (партия №253) до 12,1 см·мкм / А (партия №541), следствием чего является увеличение ширины полосы модуляции BW. В гетероструктуре 3 партии №756 (пример 6), несмотря на высокий уровень легирования p-типа ограничительного подслоя НООгр до Р, равной $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, отношение P/N, равное 1. Поэтому β относительно невелико и ширина полосы модуляции BW также невелика.

На Фиг.5 - 8 и в Таблице приведены результаты исследований параметров Лазеров без воздействия на них высокочастотной модуляции.

Ватт-Амперная характеристика (далее «ВАХ») ЛД, изготовленного из партии №541 и работающего в непрерывном режиме, изображена на Фиг.4. Лазер 1 имел коэффициенты отражения 7% и 95% на передней и задней грани, соответственно. Наблюдали, что линейность ВАХ сохраняется до уровня мощности 180 мВт. Необходимо отметить, что время службы ЛД при уровне мощности выше излома ВАХ обычно не превышало 2 часов, в то время как для уровней мощности ниже излома ЛД работали более 500 час без значительной деградации.

Выходная мощность $W_{\text{вых}}$, при которой появляется нелинейность в ВАХ (см. Фиг.5), как определено ранее названа предельной выходной мощностью $W_{\text{пред}}$, мВт (см. Таблицу, столбец 7). На Фиг.6 изображена зависимость $W_{\text{пред}}$ от отношения P/N, т.е. от отношения концентрации дырок Р в р-типа ограничительном подслое НООгр для гетероструктур 3 примеров 1 - 5 к концентрации электронов N в n-типа ограничительном подслое НООгр - N, равной $1 \cdot 10^{18}$ см⁻³. Видно, что с ростом отношения P/N предельная мощность увеличивается. При этом ЛД имели угол расходимости Θ_{\perp} в вертикальной плоскости порядка 40° , т.е. достаточно сильное ограничение световой волны в волноводе. Это было сделано намеренно, чтобы показать, что именно увеличение отношения P/N приводит к увеличению $W_{\text{пред}}$. В тоже время (см. таблицу 1, пример 6) на ЛД с гетероструктурой партии №756, которая имела высокую концентрацию дырок Р в р-типа ограничительном подслое НООгр Р, равную $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, но такую же высокую и концентрацию электронов N в n-типа ограничительном подслое НООгр N, равную $3 \cdot 10^{18}$ см⁻³, т.е. имела отношение P/N, равным 1, была получена примерно такая же $W_{\text{пред}}$, что и на ЛД с гетероструктурой партии №254, которая также имела отношение P/N, равное 1.

Для того же ЛД диаграмма направленности в плоскости, параллельной р-і-п гетеропереходу, при различных уровнях выходной мощности, $W_{\text{вых}}$: 18 - при 50 мВт, 19 - при 100 мВт и 20 - при 150 мВт, изображена на Фиг.7. Видно, что ЛД излучает на основной пространственной моде до мощности более 150 мВт.

Спектры излучения полученного ЛД (пример 5) при разных уровнях выходной мощности, $W_{\text{вых}}$, а именно: 21 - при 2 мВт, 22 - при 70 мВт и 23 - при 175 мВт, изображены на графике Фиг.8, из которого видно, что в диапазоне выходных мощностей $W_{\text{вых}}$ от 2 до 180 мВт спектр является одночастотным, т.е. прибор излучал на одной продольной моде. По достижении $W_{\text{вых}}$ равной $W_{\text{пред}}$ - 180 мВт на ВАХ (см. Фиг.5) наблюдался излом и появлялась мода более высокого порядка. При этом в спектре излучения появлялись дополнительные максимумы интенсивности. Вышеизложенные факты позволяют говорить, что появление нелинейности ВАХ обусловлено эффектом пространственного выжигания дырки.

Кроме того, с ростом отношения P/N увеличиваются внешняя дифференциальная квантовая эффективность 2η и характеристическая температура порогового тока T_0 , что говорит о снижении токовых утечек из активной области (см. Таблицу, столбцы 8 и 9). Также увеличивается внутренний квантовый выход η стимулированного излучения с ростом отношения P/N (см. Таблицу, столбец 10).

В следующем примере 7 (в Таблице не приведен) были изготовлены гетероструктуры 3, в которых отсутствует нелегированный подслой НООгр 12. Остальные параметры гетероструктур 3 аналогичны примеру 5, партии №541.

Из анализа методом вторичной масс спектроскопии гетероструктуры 3 примера 7 можно сделать вывод, что при выращивании гетероструктуры 3 имела место диффузия акцепторной примеси из р-типа ограничивающего сильнолегированного подслоя НООгр 5 в прилегающий выращиваемый нами нелегированным волноводный подслой 11, который становился слаболегированным подслоем р-типа электропроводимости. В инжекционных лазерах с такой гетероструктурой объёмный заряд р-і-п гетероперехода формировался между п-типа ограничительным подслоем НООгр 8 и р-типа волноводным подслоем 11, что привело к значительному ухудшению излучательных характеристик ЛД. Например, на таких ЛД внешняя дифференциальная квантовая эффективность 2η снижена до 0,43, ухудшены температурные характеристики инжекционных лазеров - T_0 порядка 115°K, такие ЛД сохраняли одночастотный характер спектра генерации до более чем в три раза меньших значений предельной выходной мощности излучения $W_{\text{пред}}$ - до 50-60 мВт, чем получено на ЛД, выполненных на гетероструктур партий №354, №540, №541.

Таким образом, предложенным способом увеличения диапазона рабочих

частот лазерной модуляции получено сужение спектра генерации Лазеров и стабилизирована длина волны лазерного излучения в одномодовом и одночастотном режимах при высокочастотной модуляции.

Промышленная применимость

Предложенные источники излучения используются в волоконно-оптических системах связи и передачи информации, в оптических сверхскоростных вычислительных и коммутационных системах, открытой оптической связи, в системах оптической памяти, спектроскопии, а также для накачки твердотельных и волоконных лазеров, при создании лазерного технологического оборудования, медицинского оборудования, измерительных устройств и т.д.

Таблица

№	№ партии	P	N	P/N	α	$W_{\text{пред}}$	2η	T_0	η_0	β
№ п.п.		см ⁻³	см ⁻³		см ⁻¹	МВт	Вт/А	град	%	см·мкм/А $\times 10^{-2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	253	$4 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{18}$	0,4	1-3	40	0,71	147	0,5	2,1
2	254	$1 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{18}$	1	1-3	80	0,8	160	0,57	3,5
3	354	$1,5 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{18}$	1,5	1-3	110	1,0	210	0,72	4,0
4	540	$4,5 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{18}$	4,5	1-3	150	1,2	230	0,8	8,1
5	541	$6,5 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{18}$	6,5	1-3	180	1,33	250	0,93	12,1
6	756	$3 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{18}$	1	1-3	105	1,1	230	0,77	3,3

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ регулирования диапазона рабочих частот лазерной модуляции, включающий создание гетероструктуры с активным слоем и прилегающими к нему с двух сторон ограничительными слоями, включающими с каждой стороны по крайней мере по одному ограничительному подслою наибольшего оптического ограничения, имеющих противоположные типы электропроводимости, отличающийся тем, что между ограничительными легированными подслоями наибольшего оптического ограничения, ближайшими к активному слою, в том числе в активном слое, обеспечивают уровень фоновой примеси, ограничительные легированные подслои наибольшего оптического ограничения, ближайшие к активному слою, легируют так, чтобы регулируемое отношение концентрации дырок P в подслое наибольшего оптического ограничения р-типа электропроводимости со стороны р-типа к концентрации электронов N в подслое наибольшего оптического ограничения n-типа электропроводимости со стороны n-типа, P/N , было более единицы, причем изменяют соотношение P/N , выбирая концентрации P в диапазоне от $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а концентрации N в диапазоне от $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, при этом обеспечивают расположение границ объёмного заряда р-n гетероперехода в ограничительных легированных подслоях наибольшего оптического ограничения.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что уровень фоновой примеси обеспечивают менее $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

3. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что величину P/N выбирают в диапазоне от 3 до 20.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что в ограничительном легированном подслое р-типа электропроводимости концентрацию акцепторной примеси выбирают превышающей $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что по крайней мере в одном ограничительном слое со стороны активного слоя выращивают примыкающим к ограничительному легированному подслою наибольшего оптического ограничения того же состава ограничительный нелегированный подслой наибольшего оптического ограничения, толщиной, превышающей толщину диффузии примеси из ограничительного легированного

подслоя наибольшего оптического ограничения, и не более толщины d_{np} , равной части толщины области объёмного заряда p-i-n гетероперехода, приходящейся на ограничительный нелегированный подслой наибольшего оптического ограничения.

6. Способ по п.5, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что толщину d_{np} выбирают равной толщине D_{O3} области объёмного заряда p-i-n гетероперехода за вычетом суммы, составленной из толщины d_N области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое наибольшего оптического ограничения n-типа электропроводности, толщины d_p области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое наибольшего оптического ограничения p-типа электропроводности, толщины d_{AC} активного слоя.

7. Способ по п.5, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что толщину d_{np} выбирают равной толщине D_{O3} области объёмного заряда p-i-n гетероперехода за вычетом суммы, составленной из толщины d_N области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое наибольшего оптического ограничения n-типа электропроводности, толщины d_p области объёмного заряда в ограничительном легированном подслое наибольшего оптического ограничения p-типа электропроводности, толщины d_{AC} активного слоя и толщины $d_{дп}$ дополнительных ограничительных подслоев между активным слоем и ограничительными подслоями наибольшего оптического ограничения.

8. Способ по любому из пп.5 – 7, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что ограничительный нелегированный подслой наибольшего оптического ограничения выполняют толщиной, выбранной в диапазоне 0,1 мкм...1,0 мкм.

9. Способ по любому из пп.5 – 8, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что ограничительный нелегированный подслой наибольшего оптического ограничения выращивают только со стороны ограничительного легированного подслоя наибольшего оптического ограничения p-типа электропроводности.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что по крайней мере в одном ограничительном слое выращивают примыкающим к активному слою волноводный подслой.

11. Способ по п.10, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что волноводный подслой с другой стороны граничит с соответствующим ограничительным легированным подслоем наибольшего оптического ограничения.

12. Способ по п.10, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что волноводный подслой с другой стороны граничит с ограничительным нелегированным подслоем наибольшего оптического ограничения.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что активный слой выращивают по крайней мере из одного подслоя.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что активный слой выполняют в виде одного квантово-размерного активного подслоя.

15. Способ по п.13, отличающийся тем, что активный слой выращивают по крайней мере из трех квантово-размерных подслоев, а именно, из по крайней мере двух активных квантово-размерных подслоев, разделенных барьерным квантово-размерным подслоем.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что между каждыми двумя активными квантово-размерными подслоями выращен барьерный квантово-размерный подслой.

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что область усиления формируют полосковой.

18. Способ по п.17, отличающийся тем, что в гетероструктуре выполняют барьерные области.

19. Способ по п.18, отличающийся тем, что с помощью барьерных областей формируют по крайней мере одну мезаполоску.

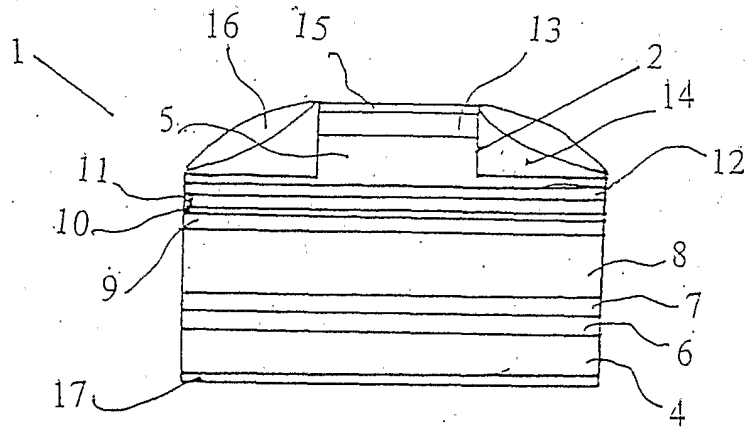
20. Способ по п.18 или 19, отличающийся тем, что барьерные области выполняют на глубину, превышающую глубину расположения активного слоя.

21. Способ по п.19, отличающийся тем, что основание мезаполоски размещают над активным слоем на расстоянии от 0,2 мкм до 0,8 мкм.

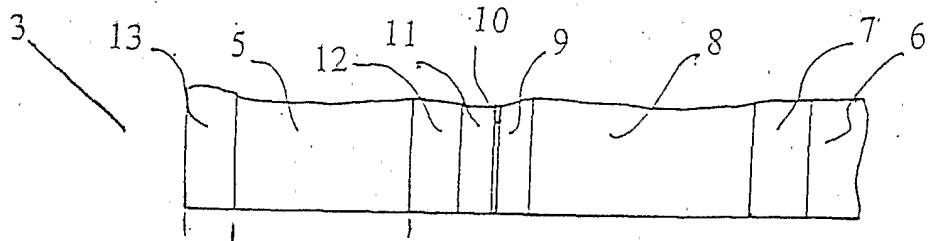
22. Способ по пп.17 или 18, отличающийся тем, что по крайней мере один из подслоев ограничительного слоя формируют с профильной поверхностью и по крайней мере активный слой выращивают повторяющим данный профиль.

23. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что ограничительный легированный слой со стороны р-типа проводимости легируют цинком, или магнием, или кадмием, или бериллием.

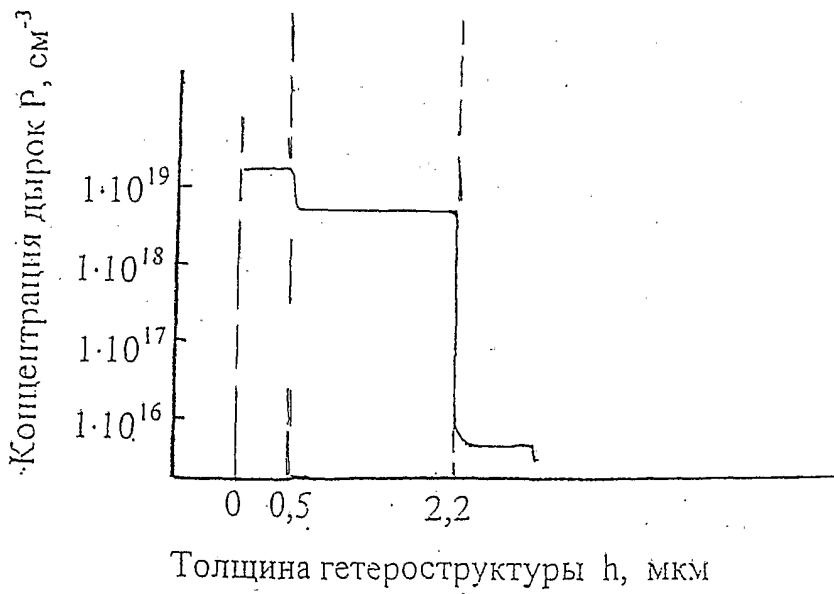
1/4



ФИГ.1

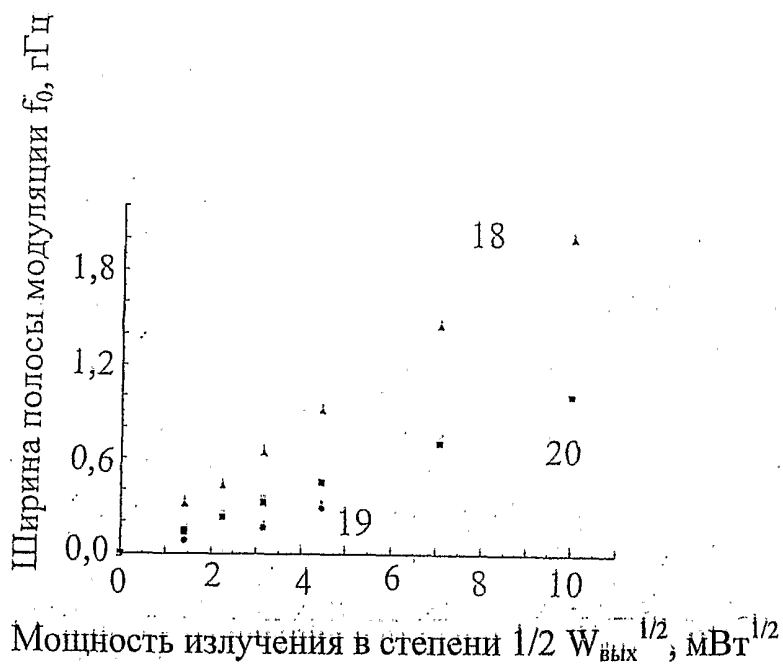


ФИГ.2

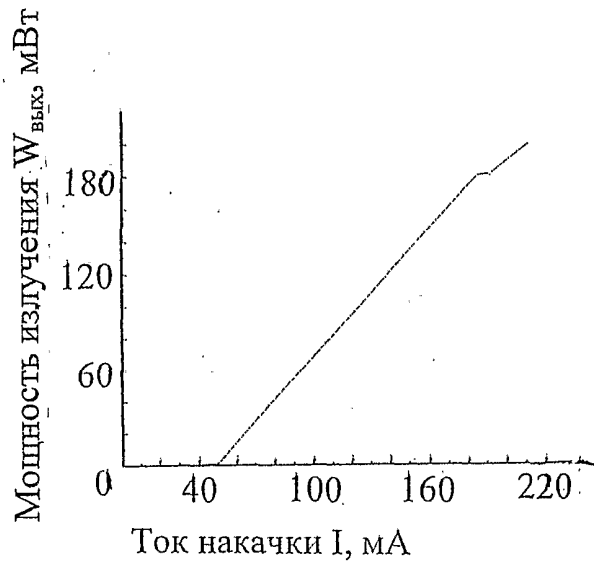


ФИГ.3

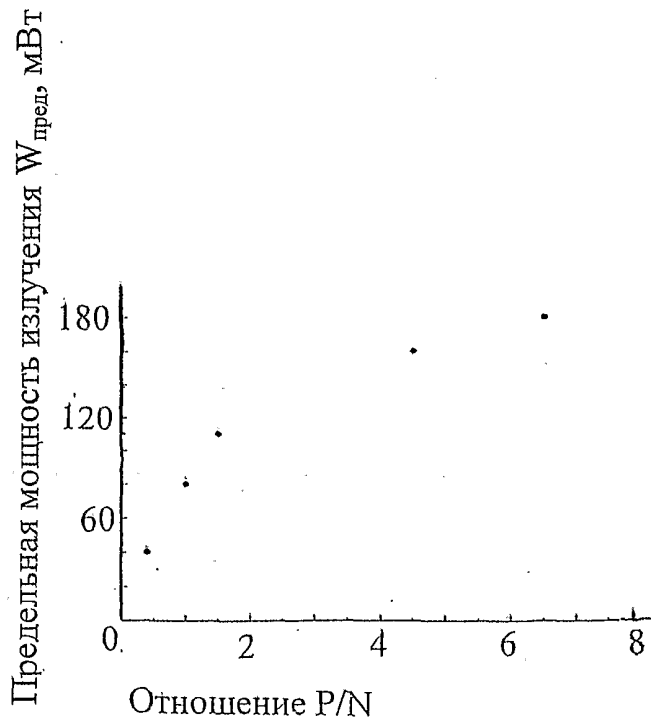
2/4



ФИГ.4

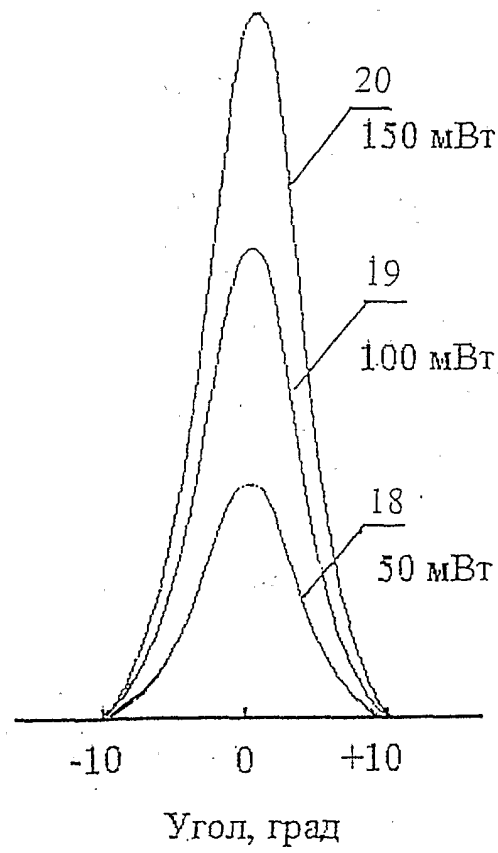


ФИГ.5

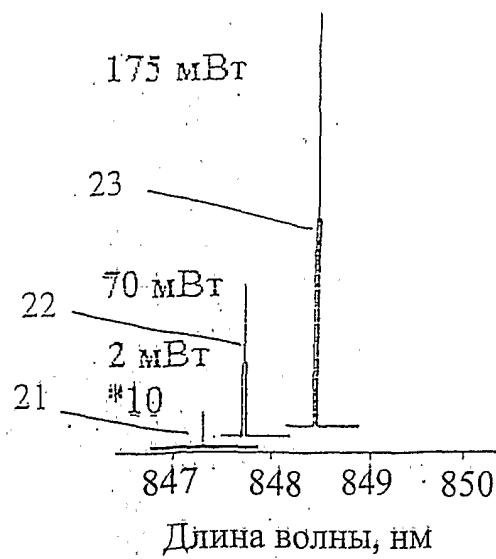


ФИГ.6

4/4



ФИГ.7



ФИГ.8