



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 34102

(13) A

(51) 6 H01S3/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ПЕРЕСТРОЮВАННЯ БАГАТОЧАСТОТНОГО ЛАЗЕРА

(21) 99063041

(22) 02.06.1999

(24) 15.02.2001

(33) UA

(46) 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.

(72) Пархоменко Юрій Миколайович, Капінус Євгеній Ілліч, Андрієнко Віктор Богданович

(73) Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України

(57) 1. Спосіб перестроювання багаточастотного лазера, що включає спрямовування випромінювання в лазерному резонаторі, що виходить із збудженого активного середовища, яке є сумішшю N парціальних органічних барвників в матриці (розчиннику), на багаточастотний перестроюваний спектральний фільтр, повернення випромінювання в активне середовище, перестроювання в фільтрі положення довжин хвиль M максимумів спектральної функції фільтра та їх інтенсивності, який **відрізняється** тим, що матрицю (розчинник) і парціальні барвники вибирають з умови, щоб у лінії підсилення кожного з барвників була хоча б одна ділянка $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ ($\lambda_{1,j} \geq \lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j} \geq \lambda_{2,j}^s$, де $[\lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j}^s]$ - лінія підсилення j-го барвника, а $j=1, \dots, N$), на якій його підсилення в s_1 разів більше, ніж підсилення, і в s_2 разів більше, ніж поглинання інших барвників ($s_1, s_2 > 1$ - ефективні рівні ослаблення), кількість спектральних максимумів фільтра змінюють в межах

$$M \leq 2N,$$

причому в межах кожної ділянки $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ розміщують не більше двох спектральних максимумів (спектральну пару) спектральної функції фільтра на довжинах хвиль $\Lambda_{j1}, \dots, \Lambda_{j2}$, де $\Lambda_{j1} \geq \lambda_{1,j}, \Lambda_{j2} \geq \lambda_{2,j}$, перестроюють положення кожного максимуму в цих парах, після чого настроюють співвідношення інтенсивностей максимумів у парах і нарешті вста-

новлюють необхідне співвідношення інтенсивностей максимумів спектральної функції фільтра між парами.

2. Спосіб перестроювання багаточастотного лазера по п. 1, який **відрізняється** тим, що в кожній ділянці $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ розміщують не менше одного максимуму фільтра, а кількість спектральних максимумів змінюють в межах:

$$N \leq M \leq 2N$$

3. Спосіб перестроювання багаточастотного лазера по п. 1, який **відрізняється** тим, що суміш барвників переводять у збуджений стан випромінюванням лазера на довжині хвилі A, барвники і матрицю вибирають з умови, щоб лінії поглинання барвників $[\lambda_{1,j}^a, \lambda_{2,j}^a]$ перетинались, причому:

$$\Lambda \in [\lambda_{1,j}^a, \lambda_{2,j}^a],$$

де $j=1, \dots, N$.

4. Спосіб перестроювання багаточастотного лазера по п. 1 або п. 3, який **відрізняється** тим, що активне середовище виготовляють із суміші протонованих і непротонованих органічних барвників, а значення водневого показника розчинника pH і параметри барвників вибирають за умови, щоб у лінії підсилення кожного з барвників була хоча б одна ділянка $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ ($\lambda_{1,j} \geq \lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j} \geq \lambda_{2,j}^s$, де $[\lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j}^s]$ де $[\lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j}^s]$ - лінія підсилення j-го барвника, а $j=1, \dots, N$), на якій його підсилення в s_1 разів більше, ніж підсилення, і в s_2 разів більше, ніж поглинання інших барвників ($s_1, s_2 > 1$ - ефективні рівні ослаблення).

Винахід відноситься до квантової електроніки, зокрема, до способів формування багаточастотного спектра лазера і його перестроювання і може бути використаний при створенні лазерного обладнання для спектроскопії зв'язку, лідарної техніки, а також для запису і обробки інформації.

Відомий спосіб формування і спектра багато-

частотного лазера і його перестроювання [1], в якому випромінювання всередині резонатора перестроюваного лазера, що виходить із уширеного однорідно широкополосного активного середовища, спрямовують на багаточастотний перестроюваний фільтр, спектральна функція якого подібна до необхідного спектру лазера. Після фільтрації

випромінювання повертають до активного середовища. Спектр перестроюють при перестроюванні спектральної функції фільтра. Недолік способу - складність формування багаточастотного спектра через сильну конкуренцію компонент в активному середовищі (при кількості компонент, більшій від 2-3 спектр виявляється практично некерованим, амплітудні співвідношення між компонентами стають не відтворюваними і нестійкими).

Найбільш близьким до заявленого винаходу (прототипом) є спосіб перестроювання багаточастотного лазера, в якому активним середовищем служить суміш трьох парціальних органічних барвників: 7-диметил-4-амінокумарина, родаміна 6Ж і крезілового фіолетового в розчиннику (матриці) [2]. Накачку здійснюють азотним лазером. Цей лазер ефективно збуджує тільки перший барвник. Для збудження інших використовується перекриття їх смуг поглинання зі смугами люмінесценції попередніх, що призводить до донорної передачі енергії. Поліхроматичне випромінювання в лазерному резонаторі, що виходить із активного середовища, спрямовують на багаточастотний перестроюваний спектральний фільтр і повертають його у активне середовище. Спектр перестроюють змінюючи спектральну функцію фільтра.

Недоліком цього способу є низькі значення вихідної енергії лазера і його ККД, оскільки при передачі енергії від одного барвника до іншого виникають суттєві її втрати (за рахунок неповної передачі енергії від донора до акцептора і додаткових втрат без випромінювання). До недоліків цього способу слід віднести також складність алгоритму Перестроювання і керування спектром, оскільки при збільшенні кількості спектральних компонент або їх інтенсивності суттєво зменшується частка донорної енергії, що впливає на енергію інших компонент. Недоліком цього способу є також мала кількість незалежно керованих спектральних компонентів, яка через вказані вище причини не може бути більшою кількості барвників у суміші.

Задачею, на вирішення якої направлений винахід, є розробка більш ефективного і простого способу перестроювання багаточастотного лазера, спектр якого може бути більш складним (мати більшу кількість спектральних компонент, довжини хвиль яких та співвідношення інтенсивностей можна незалежно перестроювати).

Розроблений для вирішення доставленої задачі спосіб дозволяє одержати технічний результат, який полягає в підвищенні ккд лазера, спрощенні алгоритму перестроювання при збільшенні кількості незалежно перестроюваних спектральних компонент. Суть заявленого технічного рішення полягає в тому, що у відомому способі перестроювання багаточастотного лазера, що включає спрямовування випромінювання в лазерному резонаторі, що виходить із збудженого активного середовища, яке є сумішшю N парціальних органічних барвників в матриці (розчиннику), на багаточастотний перестроюваний спектральний фільтр, повернення випромінювання в активне середовище, перестроювання в фільтрі положення довжин хвиль M максимумів спектральної функції фільтра та їх інтенсивності, згідно винаходу, матрицю (розчинник) і парціальні барвники вибирають з умови, щоб у лінії підсилення кожного з барвників була

хоча б одна ділянка $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ ($\lambda_{1,j} \geq \lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j} \leq \lambda_{2,j}^s$), де $[\lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j}^s]$ - смуга підсилення j -го барвника, а $j=1, \dots, N$), на якій його підсилення в s_1 разів більше, ніж підсилення, і в s_2 разів більше, ніж поглинання інших барвників ($s_1, s_2 > 1$ - ефективні рівні ослаблення), кількість спектральних максимумів фільтра змінюють в межах

$$M \leq 2N,$$

причому в межах кожної ділянки $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ розміщують не більше двох спектральних максимумів (спектральну пару) спектральної функції фільтра на довжинах хвиль, $\Lambda_{j1}, \dots, \Lambda_{j2}$, де $\Lambda_{j1} \geq \lambda_{1,j}, \Lambda_{j2} \geq \lambda_{2,j}$, перестроюють положення кожного максимуму в цих парах, після чого настраюють співвідношення інтенсивностей максимумів у парах і нарешті встановлюють необхідне співвідношення інтенсивностей максимумів спектральної функції фільтра між парами.

Крім того, запропонований спосіб відрізняється тим, що в кожній ділянці $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ розміщують не менше одного максимуму фільтра, а кількість спектральних максимумів змінюють в межах:

$$N \leq M \leq N$$

Запропонований спосіб відрізняється також тим, що суміш барвників переводять у збуджений стан випромінюванням лазера на довжині хвилі Λ , барвники і матрицю вибирають з умови, щоб лінії поглинання барвників $[\lambda_{1,j}^a, \lambda_{2,j}^a]$ перетинались, причому:

$$\Lambda \in [\lambda_{1,j}^a, \lambda_{2,j}^a],$$

де $j=1, \dots, N$.

Крім того, запропонований спосіб відрізняється тим, що активне середовище виготовляють із суміші протоніваних і непротоніваних органічних барвників, а значення водного показника розчинника pH і параметри барвників вибирають за умови, щоб у лінії підсилення кожного з барвників була хоча б одна ділянка $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ ($\lambda_{1,j} \geq \lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j} \leq \lambda_{2,j}^s$), де $[\lambda_{1,j}^s, \lambda_{2,j}^s]$ - лінія підсилення j -го барвника, а $j=1, \dots, N$), на якій його підсилення в s_1 разів більше, ніж підсилення, і в s_2 разів більше, ніж поглинання інших барвників ($s_1, s_2 > 1$ - ефективні рівні ослаблення).

Суттєвою відмінністю запропонованого способу з фізичної точки зору є створення спеціального комплексного активного середовища, при використанні якого в багаточастотному лазері буде і забезпечуватись режим роботи, в якому лінія підсилення кожного парціального барвника відносно спектральних компонент, розміщених в ній, буде вести себе як однорідноуширена, а ця ж лінія і підсилення по відношенню до спектральних компонент, розміщених в межах ліній підсилення інших барвників - як неоднорідноуширена. У такому режимі ми можемо суттєво збільшити кількість спектральних компонент до $2N$, розміщуючи в межах лінії підсилення кожного парціального барвника дві спектральні компоненти. Між енергетичними характеристиками таких пар відсутній нелінійний зв'язок через активне середовище. В умовах од-

норідного уширення лінії люмінесценції можна досить стабільно і відтворювано перестроювати співвідношення інтенсивностей цих пар і довжин хвиль настройки всередині лінії підсилення парціального барвника. Разом з тим, без зміни попередніх характеристик, можна досить довільно встановлювати співвідношення енергій пар, що забезпечує незалежне перестроювання всіх параметрів багаточастотного спектра перестроюваного лазера.

Реалізація і підтримка цього режиму визначають суттєві відмінності в ознаках способу, що визначають:

1) характеристики елементу, яким забезпечується спосіб, а саме, формування параметрів комплексного активного середовища (барвників і матриці (розчинника) таким чином, щоб положення ліній підсилення барвників, а також взаємне співвідношення їх інтенсивностей як між собою, так і з поглинанням задовольняли вимогам, що вказані вище;

2) межі, які визначають новий режим проведення операцій перестроювання:

- межі вибору кількості спектральних компонент;
- розміщення спектральних компонент не більше двох в визначених спектральних інтервалах (спектральними парами);

- межі перестроювання спектральних компонент в цих парах;

3) введення в операціях перестроювання характеристик спектральних компонент, які здійснюються шляхом зміни параметрів спектральної функції багаточастотного фільтра (положення її максимумів та їх інтенсивності); орієнтованої послідовності їх виконання:

- перестроювання довжин хвиль спектральних компонент в визначених вище межах;
- встановлення співвідношень між інтенсивностями компонент в спектральних парах;
- встановлення співвідношень між інтенсивностями спектральних пар.

Технічних рішень, які характеризуються сукупністю ознак заявленого винаходу, в доступний джерелах науково-технічної і патентної інформації не знайдено. Порівняльний аналіз запропонованого способу і прототипу дає підставу зробити висновки про те, що заявлений винахід відрізняється від відомого способу перестроювання багаточастотного лазера наявністю вищевказаних нових істотних ознак, тобто про його відповідність критерію винаходу «новизна». При вивченні інших відомих технічних рішень в галузі лазерної техніки не виявлено впливу окремих відрізняючих ознак заявленого винаходу і їх сукупності на підвищення коефіцієнта корисної дії при спрощенні алгоритму перестроювання, а також на збільшення у два рази кількості. Незалежно керованих спектральних компонент, що свідчать про творчий характер рішення, тобто про відповідність його критерію «винахідницький рівень».

Технічна суть запропонованого способу пояснюється графічним зображенням на фіг. 1-3.

На фіг. 1 зображена схема лазера, в якому реалізується спосіб.

На фіг. 2 - лінія підсилення комплексного активного середовища.

На фіг. 3 - спектр генерації лазера, в якому

реалізований запропонований спосіб.

Лазер включає в себе активне середовище 1, багаточастотний відбиваючий фільтр 2, дзеркало 3.

Активне середовище багаточастотного лазера формують у відповідності до необхідної кількості спектральних компонентів і діапазону їх перебудови. Якщо необхідний багаточастотний лазер, спектр якого вміщував би змінну кількість спектральних компонент в діапазоні:

$$M \leq 2N,$$

то активне середовище вибирають із суміші N барвників. Матрицю (розчинник) і параметри парціальних барвників активного середовища вибирають таким чином, щоб лінії їх люмінесценції (підсилення), що формують спільну лінію підсилення, взаємно доповнювали одна одну, як показано на фіг. 2. Лінія підсилення Br_1 першого барвника має ділянку $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$, де його підсилення в s_1 разів більше, ніж підсилення, і в s_2 разів більше, ніж поглинання інших барвників. Тут s_1 і s_2 - ефективні рівні ослаблення, які залежать від вимог до лазера і складають як правило $3 \div 10$ і більше. Такі ж ділянки є і в лініях підсилення інших барвників.

Один із шляхів формування ліній підсилення активного середовища полягає в акуратному виборі барвників зі спектральними лініями, які задовольняють сформульованим вище умовам. Але більш доцільним є вибір комбінації і протонованих і непротонованих барвників з одночасним підбором водневого показника розчинника рН. У непротонованих барвниках спектральні характеристики залишаються практично незмінними, у той час як в протонованих при зміні рН суттєво зміщується або лінія поглинання (наприклад, у 6-амінофеналенона при концентрації кислоти в розчині $\sim 0,8\%$ лінія поглинання зміщується у порівнянні з лінією поглинання у нейтральному розчині в короткохвильову область на 33 нм, у той час як лінія підсилення залишається незмінною), або лінія підсилення, або ж обидві лінії. У цьому випадку з'являється додатковий ступінь свободи, пов'язаний з можливістю впливати на параметри частини барвників, що спрощує досягнення необхідних умов.

Накачка активного середовища може здійснюватися широкополосним випромінюванням спеціальних люмінесцентних ламп, чи випромінюванням іншого лазера з довжиною хвилі Λ . У останньому випадку при формуванні активного середовища необхідно виконувати додаткову умову. Параметри матриці (розчинника) і парціальних барвників, що входять в активне середовище, вибирають таким чином, щоб лінії поглинання парціальних барвників $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$ мали спільну область, в яку повинно попадати значення довжини хвилі накачки Λ .

Режим роботи лазера, що забезпечує формування багаточастотного спектра лазера, такий. Спектр випромінювання, що виходить із активного середовища, буде включати суцільні ділянки довжин хвиль, що збігаються з відзначеними вище ділянками ліній підсилення окремих барвників:

$$[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}], \text{ де } j=1, \dots, N.$$

Це випромінювання всередині резонатора ла-

зера спрямовують на багаточастотний спектральний фільтр 2, спектральну функцію якого (а саме кількість його спектральних максимумів) вибирають у відповідності до необхідного спектру лазера по кількості спектральних компонент, по їх розміщенню і по співвідношенню їх інтенсивностей.

Випромінювання, відбите від фільтра, повертають в активне середовище і після відбиття в дзеркалі 3 замикають зворотній зв'язок в лазері.

Перестроювання положення довжин хвиль максимумів спектральної функції фільтра та їх інтенсивності здійснюють таким чином.

Спочатку змінюють кількість спектральних компонент в межах ліній підсилення парціальних барвників. При цьому вибір кількості спектральних компонент (тобто вибір кількості спектральних максимумів функції відбиття фільтра) здійснюють з умов, щоб вона не перевищувала $2N$ - подвоєного числа парціальних барвників в активному середовищі (верхня межа) і щоб на кожній ділянці:

$$[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}], \text{ де } j=1, \dots, N,$$

розміщувалось не більше двох спектральних компонент.

Нижня межа кількості спектральних компонент може дорівнювати одиниці. Але в випадку, коли ми хочемо досягти максимального ККД, вона повинна бути рівна N . При цьому розміщують лінії так, щоб в межах ділянки спектру, яка визначається кожним барвником, знаходилась хоча б одна спектральна лінія (у цьому випадку використовується енергія кожного барвника, що накачується у будь-якому випадку). Тобто значення кількості спектральних компонент змінюється в межах:

$$N \leq M \leq 2N.$$

Потім більш точно настроюють довжини хвиль спектральних компонент $\Lambda_{j1}, \Lambda_{j2}$, змінюючи їх у відповідних інтервалах:

$$\Lambda_{j1} \geq \lambda_{1,j}, \lambda_{2,j} \geq \Lambda_{j2}.$$

Технічно це здійснюють за рахунок зміни положення відповідних максимумів спектральної функції багаточастотного фільтра 2.

І, нарешті, перестроюють і співвідношення інтенсивностей спектральних компонент за рахунок зміни коефіцієнтів відбиття в максимумах спектральної функції і фільтра 2. Для цього спочатку встановлюють співвідношення інтенсивностей в спектральних парах компонент, розміщених в ділянках $[\lambda_{1,j}, \lambda_{2,j}]$, пов'язаних з лініями підсилення парціальних барвників. Після цього встановлюють співвідношення інтенсивностей між спектральними парами за рахунок перестроювання інтенсивностей відповідних максимумів спектральної функції фільтра.

Необхідність дотримання послідовності між операціями вибору кількості компонент і перестроювання довжин хвиль і інтенсивностей компонент очевидна і практично не потребує додаткового обґрунтування. Зокрема, виконання спочатку операції точного настроювання довжин хвиль спектральних компонент, а лише після неї підстроювання інтенсивностей пов'язано зі зміною

підсилення барвника для відповідної компоненти при зміні її довжини хвилі, що призводить до зміни співвідношення інтенсивностей під час цієї операції.

Запропонований спосіб ілюструється наступними прикладами його здійснення.

Приклад 1.

Комплексне активне середовище накачували випромінюванням другої гармоніки лазера на Алюмінієво-ітрієвому гранаті з домішками іонів неодиму (довжина хвилі 530 нм) і формували із суміші двох барвників: родамін 6Ж і 6-амінофеналенону. Перший барвник непротонований, другий - протонований. При розчиненні в етанолі родаміна 6Ж лінія поглинання і лінія підсилення на рівні ослаблення в 4 рази визначались такими граничними значеннями: [500 нм - 550 нм] (максимум - 530 нм) і [552 нм - 592 нм], а для 6-амінофеналенону відповідно: [525 нм - 575 нм] (максимум - 543 нм) і [585 нм - 620 нм]. Лінія поглинання 6-амінофеналенону сильно перекривалась з лінією підсилення родаміна 6Ж, тому в суміші з чистим етанолом активне середовище і лазер на його основі мали усі недоліки, характерні для прототипу (при концентраціях барвників одного порядку спостерігалась генерація тільки на 6-амінофеналеноні). При введенні в розчинник 0,8% кислоти (HCl) лінії підсилення обох барвників і лінія поглинання родаміна 6Ж залишались практично незмінними, а максимум лінії поглинання 6-амінофеналенону змістився на 33 нм і становив 510 нм (нові граничні значення лінії поглинання [490 нм - 550 нм]). Таким чином, були виконані умови формування активного середовища, необхідні для реалізації запропонованого способу: лінії поглинання обох барвників перетинались і вміщували в собі довжину хвилі накачки 533 нм. В лінії підсилення родаміна 6Ж виникала область [552 нм - 585 нм], а 6-амінофеналенону - [590 нм - 620 нм], в яких підсилення кожного із барвників перевищувала підсилення іншого барвника не менше, ніж у 3 рази ($s_1=3$), а поглинання обох барвників не менше, ніж у 10 разів ($s_2=10$). Було реалізовано багаточастотний режим, в якому кількість спектральних компонент могла змінюватись від 1 до 4. Пари спектральних компонент могли перестроюватись у вказаних вище граничних областях. При оцінці ККД лазера ми виходили з того, що він повинен бути добутком ККД лазера накачки на коефіцієнт перетворення енергії накачки в енергію генерації (квантовий вихід генерації). Вимірювання показали, що останній у нашому лазері на суміші барвників дорівнював квантовому виходу лазерів на кожному окремому барвнику в одночастотному режимі, тобто був гранично можливим і становив 22%. Тому при інших рівних умовах ККД лазера на комплексному активному середовищі був максимально можливим.

Приклад 2.

Активне середовище 1, що накачували лампою, формували із суміші таких барвників: 2-(2-Гідроксифеніл)бензimidазол (граничні значення лінії поглинання [320 нм - 395 нм] і лінії люмінесценції [440 нм - 520 нм]) і 2-(2-Тозиламінофеніл)-4Н-3,1-бензоксазін-4-он (граничні значення лінії поглинання [300 нм - 360 нм], лінії підсилення - [500 нм - 600 нм]).

Розчинник - толуол. При $s_1=s_2=3$ ділянки в лі-

ніях підсилення цих барвників, в межах яких можлива перебудова пар компонент: 2-(2-Гідроксифеніл)бензімідазол - [440 нм - 520 нм]; 2-(2-Тозиламінофеніл)-4Н-3,1-бензоксазін-4 - [530 нм - 600 нм].

Кількість компонент змінювали в діапазоні 1-4.

Приклад 3.

Активне середовище формували аналогічно прикладу 2, але накачували азотним лазером з довжиною хвилі 342 нм (лінії поглинання перетинаються і вмішують довжину хвилі 342 нм). Усі інші параметри як і в попередньому прикладі.

Технічні переваги способу, що пропонується:

1) Підвищується ККД лазера за рахунок збільшення ефективності використання енергії накачки. Виключаються каскадні процеси збудження одним барвником іншого і, таким чином, і додаткові втрати енергії накачки, пов'язані з неповнотою перетворення енергії накачки у збудження молекул і впливом додаткових втрат без випромінювання, що виникають при кожному перетворенні. Ця частка додаткових втрат може складати 10-20%.

2) Спрощується алгоритм перестроювання багаточастотного спектра, оскільки при виключенні каскадного перетворення енергії при збудженні

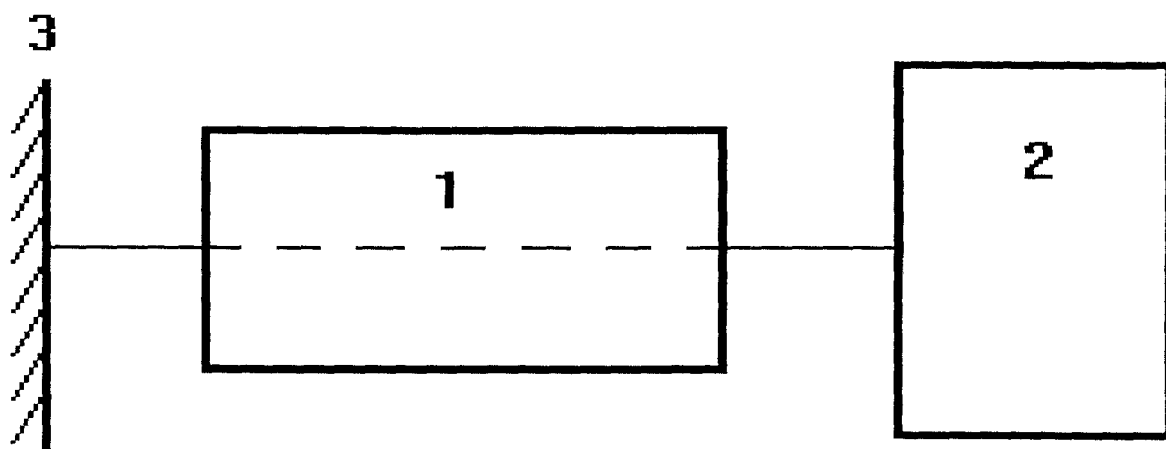
одного барвника іншим виключається перерозподіл енергії випромінювання кожного барвника на накачку і на генерацію. У випадку, коли такий перерозподіл є, збільшення інтенсивності спектральних ліній одного барвника буде призводити до зменшення інтенсивності ліній накачуваного Цим барвника. Такий вплив буде зростати при збільшенні каскадів.

3) Збільшується кількість незалежно керованих спектральних компонент до 2N. Виключення каскадної передачі і забезпечення неоднорідноширеного характеру одного барвника по відношенню до іншого дозволяє розмішувати в межах кожного барвника дві спектральні компоненти, співвідношення інтенсивностей яких регулюється співвідношенням їх втрат. Спільний рівень енергії в парі може регулюватися спільним рівнем їх втрат. При цьому співвідношення інтенсивностей і рівнів втрат в інших парах не змінюється.

Джерела інформації:

1. Патент України № 6328, H01S 3/10, опубл. в бюл. № 8-1 за 1994 р.

2. Jain R.K., Dianes A. - Spectr. Letters, 1974, V.7, N.10, p. 491-501. - прототип.



Фіг. 1

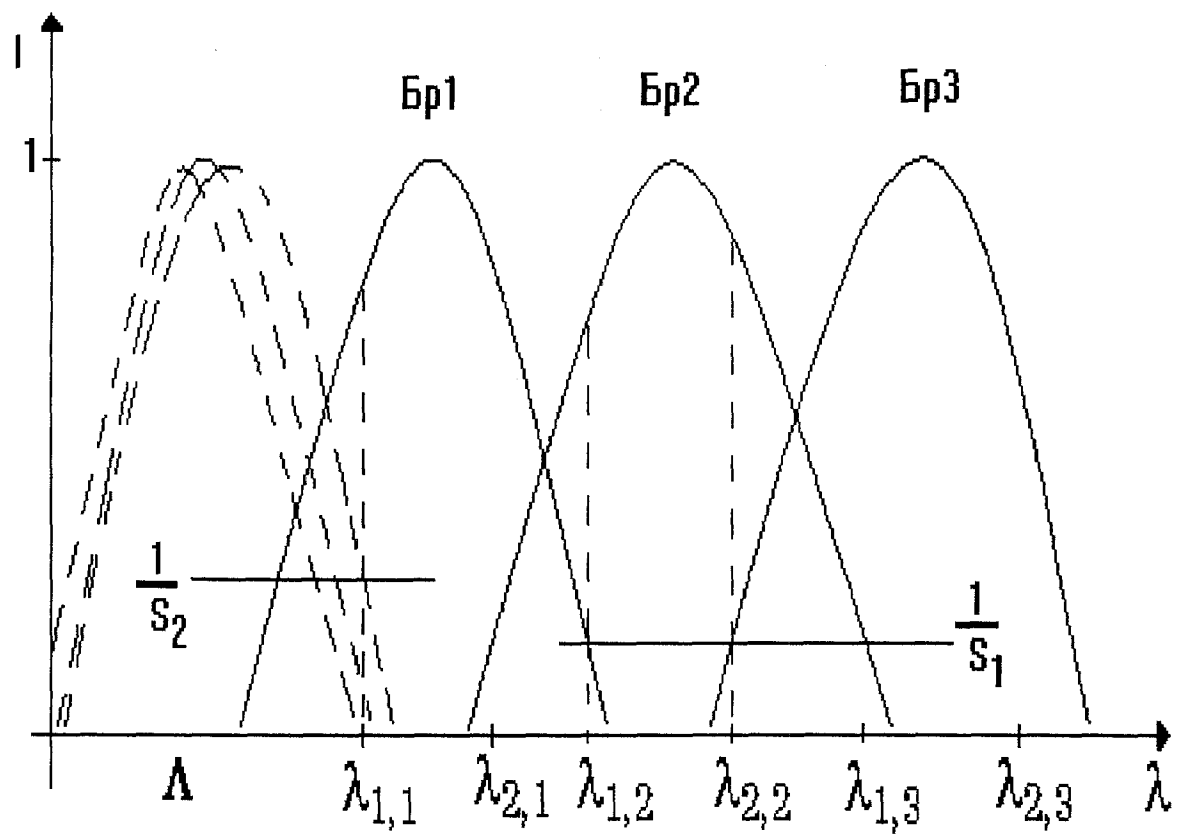


Fig. 2

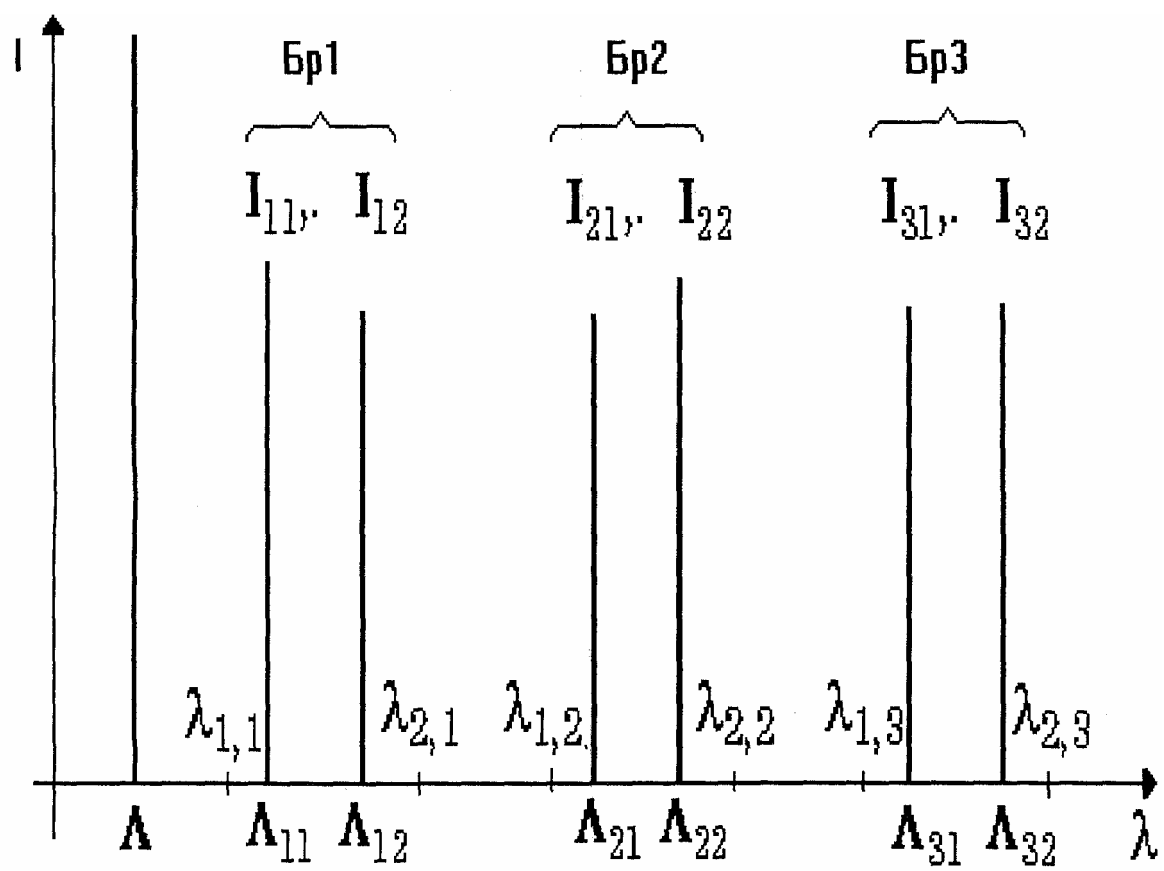


Fig. 3

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
