



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111309** (13) **C2**
(51) МПК
H01S 3/067 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

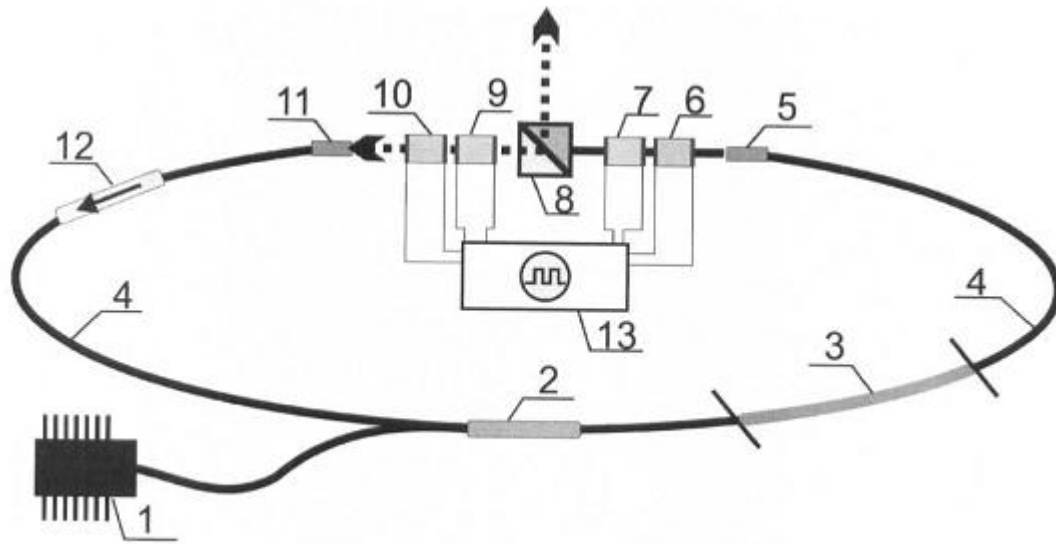
<p>(21) Номер заявки: а 2015 06651</p> <p>(22) Дата подання заявки: 06.07.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.04.2016</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.12.2015, Бюл.№ 23</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.04.2016, Бюл.№ 7</p>	<p>(72) Винахідник(и): Гнатенко Олександр Сергійович (UA), Мачехін Юрій Павлович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 8416817 B2, 09.04.2013 US 6556596 B1, 29.04.2003 US 7251258 B2, 31.07.2007 US 6385216 B1, 07.05.2002 US 7436862 B2, 14.10.2008 CN 104242025 A, 24.12.2014 RU 2540064 C2, 27.01.2015 RU 2486647 C1, 27.06.2013 RU 2410809 C1, 27.01.2011 Мачехин Ю.П. Развитие оптоэлектронного обеспечения фемтосекундных волоконных лазеров/Ю.П. Мачехин, М.Б. Данаилов, Ю.Л. Старчевский// Функциональная база нанoeлектроники : сб. науч. тр. V Междунар. науч. конф., 30 сент. – 5 окт. 2012 г. – Харків ; Кацивели : ХНУРЕ, 2012. – С. 255–258. [Інтернет-публікація], URL: http://open?archive.kture.kharkov.ua/handle/123456789/420 (знайдено 17.02.2016)</p>
---	---

(54) КІЛЬЦЕВИЙ ВОЛОКОННИЙ ФЕМТОСЕКУНДНИЙ ЛАЗЕР

(57) Реферат:

Винахід належить до лазерної техніки, зокрема до волоконних лазерів з надкороткою тривалістю імпульсу. Кільцевий волоконний фемтосекундний лазер, що містить кільцевий резонатор, що складається з замкнутого кільця волокон, які являють собою одномодове волокно SMF і відрізок волокна, легованого рідкоземельним елементом, а також послідовно з'єднані дискретні оптичні елементи, такі як діод накачування, оптичний мультиплексор, перший оптичний коліматор, поляризаційний подільник пучка, другий оптичний коліматор, оптичний ізолятор, крім того, між поляризаційним подільником пучка та оптичними коліматорами вставлені по парі рідкокристалічних комірок, кожна з яких підключена до генератора напруги.

UA 111309 C2



Фиг. 1

Винахід належить до лазерної техніки, зокрема до волоконних лазерів з надкороткою тривалістю імпульсу. Лазери такого типу застосовуються в системах зв'язку, спектроскопії, метрології, медицині, а також у космічній галузі.

5 Як правило, лазери такого типу основані на пасивній синхронізації мод з нелінійним обертанням поляризації. Відомі подібні пристрої з синхронізацією мод, в яких для контролю поляризації використовуються волоконні контролери поляризації [патент РФ 2540064 C2, МПК H01S 3/067, H01S 3/117, опублікований 27.01.2015 р.], а також акустооптичний модулятор складної конфігурації.

10 Недоліками таких лазерних систем – є складність налаштування лазера, а також висока вартість комплектуючих.

Існують й інші лазери, в яких використовуються оптичні волокна з підтриманням поляризації [патент США 7907645 B1, МПК H01S 3/098, опублікований 15.03.2015 р.], а також з сипучими пів- та чвертьхвильовими контролерами поляризації [патент США 7720114 B2, МПК H01S3/30, H01S3/10, H01S3/067, H01S3/098, опублікований 18.05.2010] або ж із застосуванням фотонно-кристалічних волокон [патент США 20040114641 A1, МПК H01S3/16, H01S3/098, H01S3/106, H01S3/30, H01S3/067, опублікований 17.06.2004 р.].

15 Всі ці моделі мають дорогі компоненти, складність налаштування лазера та гірші вихідні характеристики.

Найбільш близькою до винаходу по конструкції є система із застосуванням хвильових пластин для контролю поляризації [патент США 8416817 B2, МПК H01S 3/30, опублікований 09.04.2013 р.], яка включає в себе: діод накачування з довжиною хвилі 980 нм; оптичний мультиплексор, який застосовується для введення випромінювання в кільце резонатора; волокно, леговане рідкоземельними елементами, в даному випадку ітербієм, але як сказано авторами можливо й іншими елементами; оптичне волокно SMF; волоконно-оптичні коліматори; 25 для нелінійного обертання поляризації або її контролю використовуються півхвильові пластини, чвертьхвильові пластини та поляризаційний подільник пучка; використання спектрального фільтра передбачено для усунення додаткових перешкод, а також для стабільної генерації імпульсів; для однонаправленого поширення випромінювання передбачений оптичний ізолятор. У даній схемі, режим синхронізації мод з нелінійним обертанням поляризації відбувається за рахунок орієнтації півхвильових та чвертьхвильових пластин в просторі, в комплексі з поляризаційним подільником і спектральним фільтром. Тривалість імпульсів на виході лазера даної конструкції становить 100-200 фс. Розглянемо більш докладно роботу даної конструкції. Випромінювання діода накачування вводиться в кільце резонатора через оптичний мультиплексор, далі випромінювання, проходячи через відрізок одномодового SMF, потрапляє 35 у відрізок волокна легованого рідкоземельними елементами, в якому відбувається посилення та виникає вільна генерація лазера. Після цього випромінювання через оптичний коліматор виводиться у відкриту частину резонатора. Так як поляризація у волокні обертається випадковим чином, її після коліматора потрібно контролювати, для цього вводяться чверть- та півхвильові пластини перед поляризаційним подільником пучка. Після вирівнювання поляризації належним чином випромінювання розкладається поляризаційним подільником на дві складові 40 поляризації, одна з них служить вихідним випромінюванням. Друга складова, проходячи через оптичний фільтр і ізолятор, перетворюється чвертьхвильовою пластиною для введення через коліматор назад в кільце резонатора. Таким чином, випромінювання, посилюючись, поширюється постійно по кільцю резонатора. Для генерації надкоротких імпульсів лазера, орієнтації хвильових пластин повинні відповідати таким кутам повороту в просторі, щоб поляризації перед поляризаційним дільником і після нього були вирівняні певним чином і налаштовані на посилення однієї моди.

Недоліком даної конструкції є те, що будь-який температурний дрейф, флуктуації потужності накачування, зміни в положенні волокна або включення-виключення лазера, може вплинути на режим синхронізації мод. В результаті, на практиці, набір чвертьхвильових та півхвильових пластин всередині резонатора повинні бути скореговані час від часу вручну або автоматично (наприклад, з використанням моторизованих тримачів).

50 Це істотний недолік даної конструкції, так як вимагає постійного технічного обслуговування (ручне регулювання пластини) або збільшення загальної вартості лазера (автоматичне регулювання пластини). Іншими словами стабільність роботи лазера не забезпечується на тривалий час.

Технічною задачею винаходу є поліпшення стабільності роботи фемтосекундного волоконного лазера, за рахунок введення в резонатор рідкокристалічних комірок (РК), управління яких здійснюється за допомогою генератора напруги.

Ця задача вирішується наступним чином. У кільцевий волоконний фемтосекундний лазер, згідно з винаходом, між поляризаційним подільником пучка та оптичними коліматорами вставлені по парі рідкокристалічних комірок, кожна з яких підключена до генератора напруги.

На кресленні показана оптична схема пропонованого пристрою з послідовно з'єднаними: 1 - діод накачування; 2 - оптичний мультиплексор для довжин хвиль 980/1550 нм; 3 - одномодове волокно, леговане ербієм; 4 - одномодове волокно SMF; 5,11 - оптичні коліматори; 6 - перша рідкокристалічна комірка, 7 - друга рідкокристалічна комірка, 8 - поляризаційний подільник пучка; 9 - третя рідкокристалічна комірка; 10 - четверта рідкокристалічна комірка; 12 - оптичний ізолятор, 13 - генератор напруги, до якого підключені всі рідкокристалічні комірки.

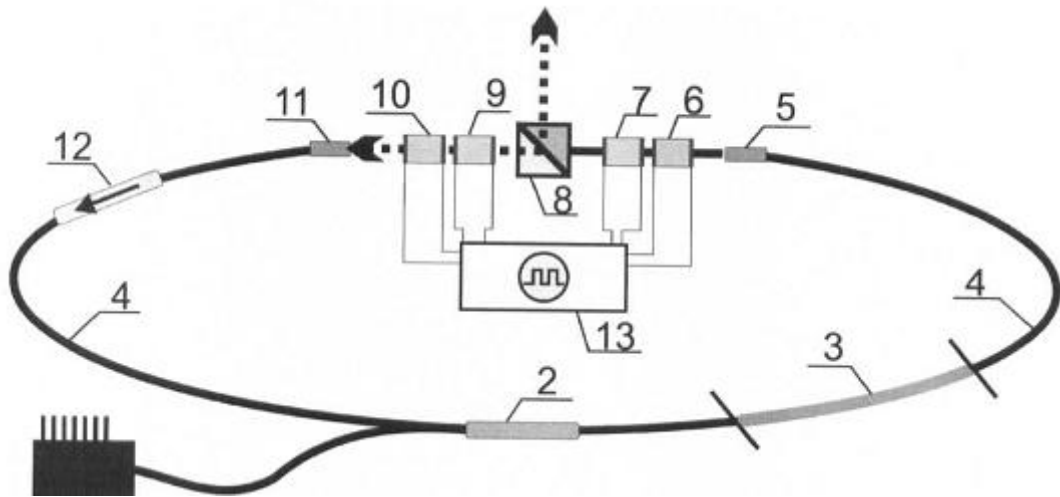
Розглянемо роботу запропонованого лазера. Автори на відміну від прототипу для конкретного випадку як волокно леговане рідкоземельними елементами використовували волокно леговане ербієм. Дана конструкція, складається з замкнутого кільця волокон і дискретних оптичних елементів, все це і складає кільцевий резонатор. Визначення довжини оптичних волокон резонатора обумовлено наявністю такого ефекту, як дисперсія групової швидкості (ДГШ). У нашій конструкції не застосовуються компенсатори дисперсії у вигляді брегівських решіток, призм або додаткових волокон з компенсацією дисперсії. З огляду на те, що волокна входять в конструкцію та мають різний знак дисперсії групової швидкості, ДГШ SMF оцінюється величиною $-0,023 \pm 0,005$ пкс²/м, ДГШ відростка волокна для введення випромінювання $-0,007 \pm 0,005$ пкс²/м і ДГШ ербієвого волокна $0,075 \pm 0,005$ пкс²/м, забезпечується компенсація ДГШ. Сумарна ДГШ в резонаторі оцінена як $-0,013 \pm 0,005$ пкс²/м, для компенсації дисперсії на дискретних елементах. Таким чином, резонатор складається з одномодового волокна SMF 4, довжиною 3,6 м і волокна, легованого ербієм 3, довжиною 1 м.

При включенні лазера накачування 1, потужність якого 330 мВт, випромінювання через пристрій введення випромінювання 2 потрапляє в кільцевий резонатор. Далі випромінювання проходить через відросток волокна, легованого ербієм 3, де відбувається посилення та вільна генерація на довжині хвилі 1550 нм. Після цього отримане випромінювання через оптичний коліматор 5 виводиться на першу РК комірку 6. Зважаючи на те, що ми використовуємо волокно без підтримки поляризації, то при проходженні через нього поляризація змінюється випадковим чином. Перша РК комірка 6 повертає поляризацію таким чином, щоб друга 7 повернула її та перетворила в кругову. Далі випромінювання з круговою поляризацією потрапляє на поляризаційний подільник пучка 8, який розкладає її на лінійні -s і -p поляризації. Випромінювання з -s поляризацією є вихідним випромінюванням лазера. Випромінювання з -p поляризацією потрапляє спочатку на третю РК комірку 9 після цього на четверту комірку 10. Комірки 9-10 орієнтують поляризацію таким чином, щоб випромінювання через коліматор 11 потрапило назад в волокно. Далі випромінювання, через оптичний ізолятор 12, який слугує для однонапрявленого поширення випромінювання, має пройти по кільцю резонатора посилитися, і вийти з коліматора 5 з такою ж орієнтацією, як і попереднього разу. Таким чином, реалізовується пасивна синхронізація мод. Випромінювання, багаторазово проходячи по резонатору, посилюється, імпульси скорочуються до фемтосекундного порядку і лазер виходить на генерацію імпульсного режиму. Ми використовуємо для цього РК комірки, що являють собою сендвіч двох скляних пластин з електродами, які вкриті поліамідами, для однорідної орієнтації рідкокристалічного матеріалу. Активна область електродів складає 1.5 см^2 і відстань між пластинами 5 або 10 мкм. При прикладанні до них зовнішнього сигналу від 0 до 10 В, з частотою 1 кГц, змінюється стан поляризації.

Таким чином, в нашому пристрої забезпечується режим синхронізації мод з нелінійним обертанням поляризації за допомогою РК комірок, які управляються генератором напруги 13, та не вимагають постійного підстроювання при різних зовнішніх впливах, тим самим забезпечуючи стабільну роботу лазера на тривалий час. Лазер генерує на довжині хвилі 1550 нм, з тривалістю імпульсів від 100 до 200 фс, з частотою повторення до 50 МГц. Вихідна потужність досягає до 20 мВт.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Кільцевий волоконний фемтосекундний лазер, що містить кільцевий резонатор, що складається з замкнутого кільця волокон, які являють собою одномодове волокно SMF і відрізок волокна, легованого рідкоземельним елементом, а також послідовно з'єднані дискретні оптичні елементи, такі як діод накачування, оптичний мультиплексор, перший оптичний коліматор, поляризаційний подільник пучка, другий оптичний коліматор, оптичний ізолятор, який **відрізняється** тим, що між поляризаційним подільником пучка та оптичними коліматорами вставлені по парі рідкокристалічних комірок, кожна з яких підключена до генератора напруги.



Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601