



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109953** (13) **C2**
(51) МПК
G02B 6/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2014 00929</p> <p>(22) Дата подання заявки: 31.01.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 26.10.2015</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 25.07.2014, Бюл.№ 14</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.10.2015, Бюл.№ 20</p>	<p>(72) Винахідник(и): Якушев Сергій Олегович (UA), Шуліка Олексій Володимирович (UA), Фесенко Володимир Іванович (UA), Сухоіванов Ігор Олександрович (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 6792188 B2, 14.09.2004 US 6650813 B2, 18.11.2003 US 2004114897 A1, 17.06.2004 US 20040175084 A1, 09.09.2004 US 2013114129 A1, 09.05.2013 CN 102866456 A, 09.01.2013 US 2012251059 A1, 04.10.2012 JP 2010129886, 10.06.2010</p>
--	--

(54) ОПТИЧНЕ МІКРОСТРУКТУРОВАНЕ ВОЛОКНО З НОРМАЛЬНОЮ ДИСПЕРСІЄЮ В БЛИЖНЬОМУ ІНФРАЧЕРВОНОМУ ТА ВИДИМОМУ ДІАПАЗОНАХ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі волоконної та лазерної техніки і призначений для реалізації функцій перетворення ультракоротких лазерних імпульсів в часовій та спектральній області. Оптичне мікроструктуроване волокно з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах виготовлено з кварцового скла. Його оболонка в поперечному перерізі сформована гексагональним масивом круглих повітряних отворів, розташованих з періодом 1 мкм. Згідно з винаходом, волокно має східчастий профіль показника заломлення та складається з суцільної серцевини діаметром 1,475 мкм та оболонки, що сформована з масиву шести кілець однакових круглих повітряних отворів діаметром 0,525 мкм. Розроблене оптичне волокно характеризується спеціальними нелінійними та дисперсійними властивостями. Запропонована структура оптичного мікроструктурованого волокна з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах значно спрощує його конструкцію та зменшує затрати на його виготовлення.

UA 109953 C2



Фіг. 1

Винахід належить до галузі волоконної та лазерної техніки, і призначений для реалізації функцій перетворення ультракоротких лазерних імпульсів (УКІ) в часовій та спектральній області, зокрема таких як зміна форми лазерних імпульсів та велике розширення спектра (суперконтинуум). Ця проблема є актуальною в сучасній лазерній техніці, тому що використання

5 УКІ в науці та техніці вимагає створення ефективних оптичних методів обробки лазерних імпульсів з надкороткою тривалістю (піко та фемтосекунди). Запропонований винахід - нове оптичне мікроструктуроване волокно з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах, яке характеризується спеціальними нелінійними та дисперсійними властивостями, є привабливим інструментом для вирішення цієї задачі.

10 Відомо оптичне волокно зі згладженою нормальною дисперсією (United States Patent, "Dispersion flattened fiber with high negative dispersion and method for manufacture thereof, Inventors: Jeong U. Jeon, Young Tark Lee, Appl. No.:09/776,762, Filed: 6.02.2001, Patent Number: US 6,650,813 B2, Date of Patent: 18.11.2003). В цьому патенті запропоновано структуру кварцового оптичного волокна зі зменшеним до 2.8-3.6мкм діаметром сердцевини та складним профілем показника заломлення оболонки (волокно W-типу), яке призначене для отримання

15 нормальної дисперсії в C та L діапазонах (1520 нм - 1620 нм), в яких зазвичай працюють системи щільного мультиплексування по довжині хвилі. Волокно характеризується величиною хроматичної дисперсії в межах від -20 до -60 пс/(км*нм) в зазначеному спектральному діапазоні. Основною областю застосування такого волокна є компенсація накопиченої дисперсії в системах передачі інформації. Суттєвим недоліком такого волокна, є те що воно характеризується незначним коефіцієнтом нелінійності і обмеженою смугою зі згладженою

20 нормальною дисперсією навколо довжини хвилі 1500 нм, що ускладнює генерацію суперконтинууму та нелінійне перетворення форми імпульсів в діапазоні генерації титан-сапфірових лазерів - 800 нм.

25 Відомо оптичні мікроструктуровані волокна (United States Patent Application Publication, "Optical fiber", Inventors: M. Koshiba, K. Saitoh, Appl. No.: 10/731,501, Filed: 10.12.2003, Pub. No.: US 2004/0114897 A1, Pub. Date: 17.06.2004). В цьому патенті запропоновано структури для низки оптичних мікроструктурованих волокон, зокрема, запропоновано структуру оптичного кварцового волокна, що складається з сердцевини діаметром близько 3.0 мкм та мікроструктурованої оболонки, сформованої масивом круглих повітряних отворів, розташованих з періодом $\Lambda=1.45$ мкм. Таке мікроструктуроване оптичне волокно дозволяє отримати згладжену нормальну дисперсію зі значенням від - 7.9 до -5.67 пс/(км*нм) в діапазоні 1280-1600 нм. Проте недоліком цього волокна є недостатня величина хроматичної дисперсії, що не дозволяє його використати для генерації суперконтинууму.

35 Найбільш близьким до запропонованого технічного рішення є оптичне мікроструктуроване волокно (United States Patent, "Dispersion manipulating fiber", Inventors: Stig Eigil Barkou Libori, Jes Broeng, Anders Bjarklev, Thomas Sondergaard, Martin Dybendal Nielsen, Appl. No.: 09/910,705, Filed: 20.06.2001, Patent. No.: US 6,792,188 B2, Date of Patent: 14.09.2004). В цьому патенті наведено структуру оптичних мікроструктурованих волокон. Запропоновані кварцові волокна з діаметром сердцевини, що лежить в межах 2.8-3.0 мкм, можуть мати мікроструктуру не тільки в оболонці але і в сердцевині. Мікроструктурована оболонка формується гексагональним масивом, що складається з трьох кілець круглих повітряних отворів, причому діаметр отворів у внутрішньому кільці менший за діаметр отворів в зовнішніх кільцях. В залежності від співвідношення між діаметрами отворів d_1 , d_0 та періодом Λ в масиві, може бути отриманий ряд

40 дисперсійних характеристик які характеризуються наявністю широкого спектрального діапазону з нормальною дисперсією. Зокрема при значеннях $\Lambda=1.0$ мкм, $d_1=0.3$ мкм та $d_0=0.6$ мкм волокно характеризується величиною хроматичної дисперсії в межах від -80 до -50 пс/(км*нм) в діапазоні від 600 до 2000 нм з максимальним значенням -50 пс/(км*нм) на довжині хвилі 1200 нм. Основні області застосування даного мікроструктурованого волокна стосуються компенсації накопиченої дисперсії та нелінійних застосувань на довжині хвилі 1550 нм. Проте суттєвим недоліком запропонованих волокон є відсутність смуги зі згладженою дисперсією в околиці довжини хвилі 800 нм, який приводить до значної величини дисперсії третього порядку, що в свою чергу суттєво ускладнює генерацію суперконтинууму в даній частотній області, а також нелінійне перетворення форми УКІ.

55 Головною відмінною рисою прототипу є складний профіль показника заломлення сердцевини волокна та наявність лише трьох кілець повітряних отворів в оболонці, причому діаметр отворів (0.3 мкм) у внутрішньому (найближчому до сердцевини) кільці значно менший в порівнянні із діаметром отворів (0.6 мкм) у зовнішніх кільцях. Хоча таке технічне рішення дозволяє отримати нормальну дисперсію в широкому спектральному діапазоні, але наявність кільця отворів зі зменшеним діаметром в оболонці та складний профіль показника заломлення в сердцевині

60

волокна призводить до додаткових технологічних проблем при його виготовленні. Зокрема у зв'язку з необхідністю отримання серцевини зі складним профілем показника заломлення виникає додаткова задача по виготовленню відповідної скляної преформи з використанням технології модифікованого осадження з парової (газової) фази (MCVD). Проблему також становить додаткове легування серцевини в ході процесу MCVD, що призводить до збільшення рівня загальних втрат в волокні. Крім того, зменшений діаметр отворів внутрішньої оболонки значно збільшує ймовірність їх схлопування в процесі витягування волокна, що призводить до відбраковки таких волокон.

Також суттєвим недоліком є те що прототип характеризується значно більшим діаметром серцевини 3.0 мкм, в порівнянні з 1.475 мкм в запропонованому волокні, що дає значно менший коефіцієнт нелінійності, та відсутністю області зі згладженою дисперсією на довжинах хвиль генерації 800 нм, що значно ускладнює його використання для нелінійних застосувань, таких як функції перетворення ультракоротких лазерних імпульсів та генерація суперконтинууму в околиці цієї довжини хвилі.

В основу винаходу поставлена задача розробки оптичного мікроструктурованого волокна, яке забезпечує нормальну дисперсію в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах та має смугу згладженої дисперсії в діапазоні 700-900 нм, де генерують фемтосекундні титан-сапфірові лазери, з максимальним значенням дисперсійного параметра D не більшим за -20 пс/(км*нм) на довжині хвилі 800 нм.

Поставлена задача вирішується тим, що у оптичному мікроструктурованому волокні з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах, з кварцового скла, оболонка сформована гексагональним масивом круглих повітряних отворів, розташованих з періодом 1 мкм, згідно з запропонованим винаходом, волокно має східчастий профіль показника заломлення та складається з суцільної серцевини діаметром 1.475 мкм та оболонки, що сформована з масиву шести однакових кілець круглих повітряних отворів діаметром 0.525 мкм.

Суть винаходу пояснюють креслення.

На фіг. 1 схематично зображено поперечний переріз розробленого оптичного мікроструктурованого волокна з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах та профіль його показника заломлення.

На фіг. 2 зображено спектральні залежності дисперсійного параметра D та діаметра модової плями MFD розробленого мікроструктурованого волокна.

На фіг. 3 наведено результати моделювання різних функцій перетворення форми та спектра УКІ за допомогою розробленого волокна.

Розглянемо більш докладно запропонований винахід. Запропоноване технічне рішення - оптичне мікроструктуроване волокно з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах з суцільною серцевиною та оболонкою, сформованою гексагональним масивом повітряних отворів, пояснюється прикладом. Зазначимо, що спроектоване волокно має наступні параметри для масиву отворів: період $\Lambda=1.0$ мкм та відносний розмір отворів $d/\Lambda=0.525$. Ці параметри можуть незначно варіюватися в межах 5 % під дією зовнішніх факторів в ході процесу витяжки волокна, але це не має суттєвого впливу на дисперсійну характеристику волокна.

Як приклад розраховано оптичне мікроструктуроване волокно, яке складається з суцільної серцевини діаметром 1.475 мкм та оболонки, що сформована гексагональним масивом з шести однакових кілець круглих повітряних отворів номінальним діаметром $d=0.525$ мкм розташованих з періодом $\Lambda=1.0$ мкм (див. фіг. 2). Запропоноване волокно забезпечує нормальну дисперсію в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах.

Виготовлення запропонованого оптичного мікроструктурованого волокна з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах може бути здійснено за допомогою стандартного методу який використовується для отримання кварцових оптичних волокон - витяжки з попередньо підготовленої заготовки (преформи). Даний метод включає в себе декілька етапів. На першому етапі проводиться формування преформи з заданими параметрами. Для отримання мікроструктурованих волокон з суцільною серцевиною, преформа являє собою набір окремих, суцільного (серцевина) та пустотілих, стрижнів з кварцового скла, скомпонованих за необхідним законом, як правило вона має довжину 1 м та діаметр близько 1-10 см. На другому етапі сформовану преформу закріплюють в витяжній башті, де після нагрівання кінця заготовки до температури плавлення оптичне волокно отримується шляхом витягування. В ході витягування проводиться безпосередній моніторинг геометричних параметрів оптичного волокна, а також моніторинг параметрів самого процесу, таких як: робоча

температура, тиск газу, швидкість витягування та інших. Третій етап включає нанесення на отримане волокно захисних оболонок.

В даному винаході необхідна величина негативної дисперсії в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах досягається без внесення додаткових ускладнень в структуру волокна таких як, складний профіль показника заломлення серцевини, або внутрішнє кільце отворів зі зменшеним діаметром в оболонці. А саме, необхідна спектральна залежність дисперсійного параметра та достатньо ефективне обмеження потужності оптичного випромінювання в серцевині мікроструктурованого волокна досягається завдяки використанню шести кілець повітряних отворів в оболонці та відповідного співвідношення його геометричних параметрів.

На фіг. 2 зображено спектральні залежності дисперсійного параметру D та діаметру модової плями (MFD) розробленого мікроструктурованого волокна. Дисперсійний параметр волокна негативний (нормальна дисперсія) в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах з піком на довжині хвилі 800 нм. Крім того, волокно має згладжену дисперсійну характеристику навколо цієї довжини хвилі, що є необхідною умовою для реалізації функцій перетворення ультракоротких лазерних імпульсів. На довжині хвилі 800 нм дисперсійний параметр D та діаметр модової плями MFD приймають наступні значення: $D=-25$ пс/(км*нм), MFD=1.53 мкм.

На фіг. 3 наведено результати моделювання деяких функцій перетворення УКІ з використанням розробленого волокна. Зокрема на фіг. 3 а) відображені результати генерації суперконтинууму в волокні довжиною 10 см, в даному випадку як початковий імпульс використано нечирпований (параметр чирпа $C=0$) Гаусовий імпульс з енергією $E=5$ нДж та тривалістю $\tau=100$ фс. Результати наведені на фіг. 3 б), в) стосуються нелінійного перетворення форми початкового чирпованого Гаусового імпульсу. Так фіг. 3 б) показує результати формування параболічного імпульсу в волокні довжиною 20 см з початкового Гаусового імпульсу з наступними параметрами: $E=15$ пДж, $\tau=80$ фс, $C=1.24$. На фіг. 3 в) зображено перетворення Гаусового імпульсу з параметрами $E=365$ нДж, $\tau=100$ фс, $C=-4$ в трикутний імпульс в волокні довжиною 9 см.

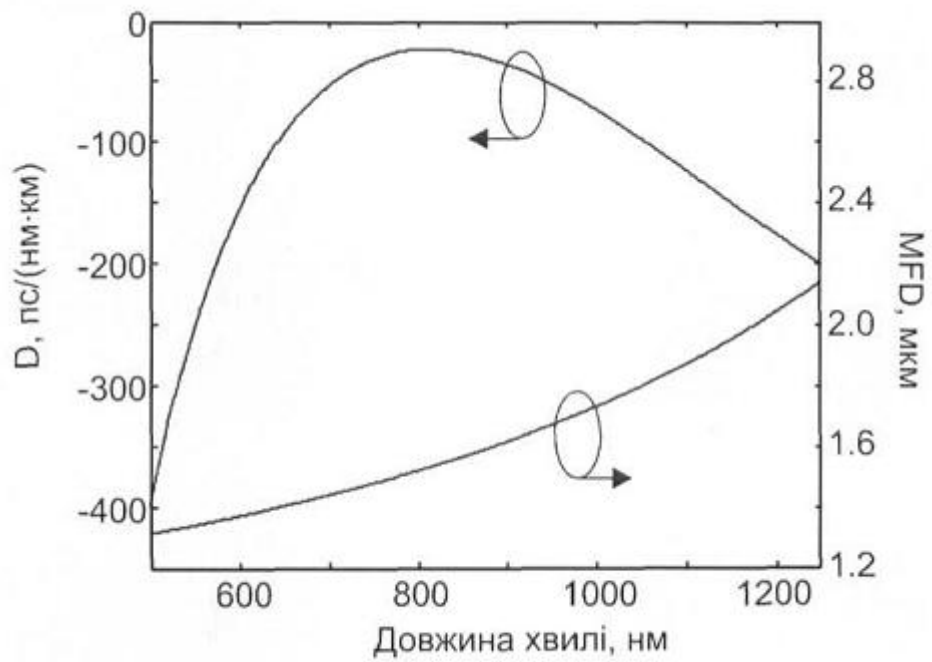
Запропонована структура оптичного мікроструктурованого волокна з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах значно спрощує його конструкцію та зменшує затрати на його виготовлення, що являється важливим моментом при промислового виготовленні таких волокон.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

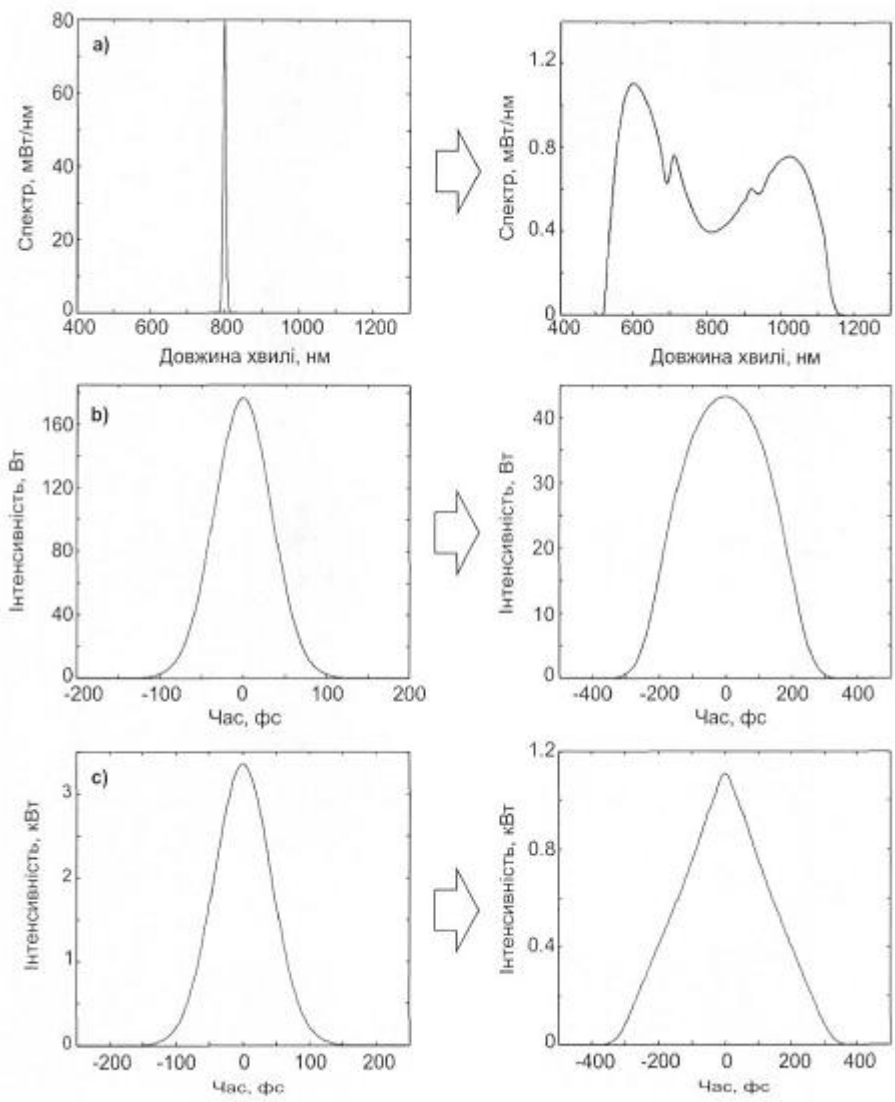
Оптичне мікроструктуроване волокно з нормальною дисперсією в ближньому інфрачервоному та видимому діапазонах, з кварцового скла, оболонка якого в поперечному перерізі сформована гексагональним масивом круглих повітряних отворів, розташованих з періодом 1 мкм, яке **відрізняється** тим, що волокно має східчастий профіль показника заломлення та складається з суцільної серцевини діаметром 1,475 мкм та оболонки, що сформована з масиву шести кілець однакових круглих повітряних отворів діаметром 0,525 мкм.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Д. Шеврун

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

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