

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO | 102022000000167 |
| Data Deposito | 07/01/2022 |
| Data Pubblicazione | 07/07/2023 |

Classifiche IPC

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 067 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 11 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 10 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 08 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 06 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| H | 01 | S | 3 | 113 |

Titolo

DISPOSITIVO PER LA COMPRESSIONE DI IMPULSI LASER DELL'ORDINE DEL
NANOSECONDO E CONSEGUENTE GENERAZIONE DI IMPULSI ULTRACORTI DELL'ORDINE
DI CENTO FEMTOSECONDI

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

“DISPOSITIVO PER LA COMPRESSIONE DI IMPULSI LASER
DELL’ORDINE DEL NANOSECONDO E CONSEGUENTE GENERAZIONE DI
IMPULSI ULTRACORTI DELL’ORDINE DI CENTO FEMTOSECONDI”

di BRIGHT SOLUTIONS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA DEGLI ARTIGIANI 27, 27010 CURA CARPIGNANO (PV)

Inventori: AGNESI Antoniangelo, CARRA’ Luca, PICCINNO
Giuliano, PIRZIO Federico

Campo della tecnica

La presente invenzione si riferisce ad un dispositivo per la compressione di impulsi laser dell’ordine del nanosecondo (da alcune centinaia di picosecondi ad alcuni nanosecondi) in impulsi ultracorti dell’ordine di 100 femtosecondi (da alcune decine ad alcune centinaia di femtosecondi).

Sfondo dell’invenzione

Per realizzare impulsi laser ultracorti dell’ordine di cento femtosecondi ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) esistono varie architetture, normalmente basate su funzionamento in regime di mode-locking, in tecnologia a stato solido o in fibra ottica. Recentemente si è affermata un’architettura, come quella mostrata in figura 1.

La figura 1 descrive l’arte nota ed illustra un esempio di

oscillatore laser impiegato per la realizzazione di tali impulsi ultracorti.

L'oscillatore comprende una guida d'onda disposta tra due riflettori (1 e 8) ed include due filtri passa banda a trasmissione non sovrapposta SF1 e SF2 (2 e 7), mezzi otticamente trasparenti con coefficiente non lineare $\chi^{(3)}$ diverso da zero (4,6) configurati a realizzare un allargamento spettrale per auto-modulazione di fase del segnale che transita attraverso tali mezzi (4,6) ed un amplificatore ottico (5) che realizza un guadagno positivo. Nelle realizzazioni secondo l'arte nota, le guide d'onda sono fibre ottiche monomodali.

Il segnale di uscita è prelevato alla riflessione di uno dei due filtri (2, 7) oppure in trasmissione da uno dei due specchi terminali (se ha riflettività < 100%) o da un altro punto qualsiasi dell'oscillatore mentre l'oscillazione laser potrebbe essere indotta dal rumore di emissione spontanea dall'amplificatore (5), oppure potrebbe essere innescata iniettando un segnale esterno in un punto dell'oscillatore scelto convenientemente a questo scopo (non necessariamente coincidente con lo stesso nodo usato per prelevare il segnale di uscita). Per quanto riguarda il rumore questo è da intendersi come fluttuazioni di segnale ottico entro l'amplificatore ottico (5) con guadagno positivo. Tali fluttuazioni occorrono entro la banda di guadagno

dell'amplificatore ottico con guadagno positivo (5) e sono genericamente prodotte da processi di decadimento spontaneo. L'oscillazione laser avviene quando si stabilizza un impulso circolante, il cui allargamento complessivo di banda prodotto in un singolo passo dai mezzi otticamente trasparenti (4) e (6) e dall'amplificatore ottico (5) è almeno pari alla spaziatura tra i filtri (2) e (7).

Nel caso di innesco prodotto con segnale di eccitazione esterno, i dispositivi di innesco di maggiore affidabilità dimostrata nelle soluzioni proposte fino ad ora in letteratura producono impulsi di pochi picosecondi o decine di picosecondi, e sono sorgenti laser di eccitazione complesse e costose.

Una volta iniziata l'oscillazione, se il guadagno dell'amplificatore ottico è mantenuto costante, energia e durata dell'impulso circolante restano costanti anche se il segnale di innesco esterno è interrotto. L'oscillatore emette così un treno di impulsi tutti uguali, con un periodo di ripetizione pari al tempo di percorrenza di un ciclo completo nell'oscillatore. Tale impulso, dell'ordine del picosecondo, è comprimibile a durate dell'ordine di 100 femtosecondi secondo l'arte nota, aggiungendo la corretta quantità di dispersione di velocità di gruppo.

Scopo della presente invenzione.

E' sentita l'esigenza di realizzare impulsi ultracorti

mediante la compressione in un oscillatore di impulsi generati da un laser molto semplice e a basso costo, da una durata dell'ordine di 1 nanosecondo a durate dell'ordine di 100 femtosecondi.

Il precedente scopo è raggiunto dal dispositivo per la compressione di impulsi del tipo descritto nella rivendicazione 1.

Breve descrizione dei disegni

L'invenzione verrà ora illustrata con riferimento ai disegni allegati che ne rappresentano una forma di attuazione non limitativa in cui:

la figura 1 illustra un esempio di dispositivo per la generazione di impulsi laser ultracorti realizzato secondo l'arte nota;

la figura 2 illustra dispositivo per la compressione di impulsi laser dell'ordine del nanosecondo in impulsi ultracorti dell'ordine di cento femtosecondi realizzato secondo l'invenzione; e

la figura 3 rappresenta lo spettro di un segnale allargato in banda secondo la presente invenzione, per l'innesto dell'oscillazione del dispositivo in figura 2;

la figura 4 mostra una realizzazione alternativa, più complessa, ma altrettanto valida dell'oscillatore illustrato in figura 2, basata su una struttura ad anello.

Esempio preferito di realizzazione.

La figura 2 illustra un dispositivo per la compressione di impulsi laser dell'ordine del nanosecondo in impulsi ultracorti dell'ordine di cento femtosecondi realizzato secondo i dettami della presente invenzione. Per impulsi laser ultracorti si intendono impulsi laser aventi durata dell'ordine di cento femtosecondi.

Il dispositivo in figura 2 comprende un **oscillatore 32** che è formato da:

riflettori ottici terminali 10 e 17;
un primo ed un secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta 11 e 16 accoppiati rispettivamente ai riflettori ottici terminali 10 e 17;
dispositivi otticamente trasparenti 13, 15 con coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ diverso da zero, configurati a realizzare un allargamento spettrale per auto-modulazione di fase del segnale che transita attraverso tali dispositivi;
una guida d'onda attiva (per esempio una fibra ottica) 14 che realizza un guadagno positivo, quando illuminata con tecnologie note da un **diodo laser di pompa** 18, pilotato da un opportuno **generatore di corrente** 19 operante anche esso con tecnologie note;
un nodo 12 configurato per ricevere un segnale di innesco atto ad attivare un'oscillazione laser nell'oscillatore 32; (il nodo 12 nell'esempio di

realizzazione è posto tra il filtro passa banda 11 ed il dispositivo otticamente trasparente 13 - il nodo 12 può essere comunque disposto in qualsiasi posizione fra i riflettori ottici terminali 10 e 17, in base alla praticità);

Il dispositivo di figura 2 inoltre comprende un dispositivo di generazione del segnale di innesco 31.

Nell'esempio illustrato i riflettori ottici terminali 10 e 17 e rispettivamente il primo ed il secondo filtro passa banda 11 e 16 sono realizzati da componenti distinti; tuttavia il riflettore ottico terminale 10 ed il rispettivo filtro passa banda 11 potrebbero essere integrati in un unico componente, così come il riflettore ottico terminale 17 ed il rispettivo filtro passa banda 16 potrebbero essere integrati in un unico componente.

Un coefficiente $\chi^{(3)}$ corrispondente ad un indice non lineare Kerr n_2 pari, ad esempio, a circa $3 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ tipico di una fibra ottica telecom è sufficiente a realizzare un adeguato allargamento spettrale per auto-modulazione di fase, tuttavia fibre speciali o guide d'onda ad alta non-linearità possono essere utilmente impiegate o per produrre impulsi più brevi o per realizzare oscillatori ad alto tasso di ripetizione ($> 1 \text{ GHz}$) totalmente integrati in guida su chip ottico.

I filtri passa banda a trasmissione non sovrapposta 11 e 16

si basano su principi di funzionamento noti. A tal proposito, esistono varie possibili alternative, di efficacia comparabile, come sottili lamine di vetro con opportuni rivestimenti dielettrici, reticoli diffrattivi di superficie o di volume deposti su lastre di vetro o ricavati all'interno di fibre ottiche.

I dispositivi otticamente trasparenti 13, 15 con coefficiente non lineare $\chi^{(3)}$ diverso da zero sono tipicamente realizzati da fibre ottiche monomodali. In realtà un qualsiasi materiale otticamente trasparente con $\chi^{(3)}$ diverso da zero, se opportunamente dimensionato, potrebbe fungere da mezzo non lineare attraverso cui ottenere allargamenti spettrali per auto-modulazione di fase e miscelazione a quattro onde. Le guide d'onda come le fibre ottiche, tuttavia, risultano essere particolarmente efficaci a questo proposito, grazie alla possibilità di confinare al loro interno la radiazione ottica su distanze arbitrariamente lunghe, grazie al principio della riflessione totale interna. Tra le possibili fibre ottiche, le fibre intrinsecamente monomodali, garantendo la propagazione entro un nucleo più piccolo, consentono facilmente di raggiungere livelli di intensità ottica più elevata, ottimizzando l'innesto di fenomeni non lineari.

La guida d'onda attiva 14, drogata con ioni attivi di terre rare, come ad esempio itterbio, neodimio, erbio o

tullio, ma non limitatamente, quando opportunamente pompata (ovvero in condizioni di guadagno positivo mediante assorbimento di radiazione elettromagnetica ad una lunghezza d'onda corrispondente ad uno dei picchi del rispettivo spettro di assorbimento, come generata dal dispositivo 18) consente di realizzare un amplificatore ottico ed è strutturalmente compatibile con i dispositivi otticamente trasparenti 13, 15 di tipo passivo utilizzati per innescare fenomeni ottici non lineari. Nel caso specifico della realizzazione prototipale, operativa alla lunghezza d'onda di 1064 nm, si è impiegata una fibra ottica drogata con ioni itterbio. La concentrazione di drogante richiesta non è un parametro rilevante al funzionamento finale. Nell'ipotesi di realizzare sistemi operanti a lunghezze d'onda differenti, il drogante della fibra attiva dovrà essere modificato di conseguenza, come noto in letteratura. Tipicamente la fibra ottica monomodale attiva nell'esempio riportato presenta lunghezza di circa 1 m.

Secondo la presente invenzione il **dispositivo per la generazione del segnale di innesco 31** comprende:

una **sorgente laser a microchip** 21 configurata per generare un impulso laser preferibilmente avente durata dell'ordine del nanosecondo e con banda minima (limite di Fourier) circa uguale all'inverso della durata temporale;

un **sistema ottico** 22 (schematizzato da un insieme di

lenti) atto ad accoppiare l'impulso del laser 21 all'ingresso di una **guida d'onda** 23 realizzata in un mezzo materiale otticamente trasparente caratterizzato da un coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ diverso da zero. Tale mezzo di materiale otticamente trasparente potrebbe essere genericamente simile a quello impiegato nei dispositivi otticamente trasparenti 13 e 15, fatto salvo un dimensionamento ottimizzato sull'ammontare degli effetti non lineari desiderati, senza i vincoli imposti nei dispositivi 13 e 15 da frequenza di ripetizione ed energia degli impulsi circolanti.

La guida d'onda 23 innesca due distinti effetti non lineari al fine di allargare spettralmente l'impulso del laser 21 in ingresso e precisamente:

- a) auto-modulazione di fase (SPM) e
- b) miscelazione a quattro onde (FWM);

La miscelazione a quattro onde (FWM) ha un ruolo prevalente rispetto alla auto-modulazione di fase (SPM) nel produrre allargamento spettrale in questo caso.

L'uscita della guida d'onda 23 alimenta il segnale di innesco al nodo 12 attraverso un **dispositivo di accoppiamento** 24.

Tipicamente la guida d'onda 23 è realizzata da una fibra ottica mono-modale.

In particolare nella realizzazione prototipale della

richiedente la fibra ottica mono-modale 23 presenta lunghezza compresa tra 5 e 15 m.

Preferibilmente la sorgente laser 21 presenta potenza di picco degli impulsi emessi superiore a 100 W.

La sorgente laser 21 tipicamente è realizzata da un laser a microchip.

Il laser 21 opera convenientemente in regime di Q-switching con cui si intende un particolare modo di funzionamento di un oscillatore laser di tipo noto con cui il laser può produrre un fascio d'uscita impulsato. Questa tecnica permette la produzione di impulsi di luce con una potenza di picco estremamente alta, molto più alta di quella che sarebbe prodotta dallo stesso laser se operasse in regime continuo. Nel regime di Q-switching un amplificatore si trova in uno stato di alto guadagno, mentre un modulatore opportuno commuta rapidamente le perdite in cavità (fattore Q) da un valore alto (che impedisce oscillazione laser) a uno basso, permettendo l'oscillazione sotto forma di emissione di un impulso ottico singolo e molto intenso. Un modulatore attivo è un componente elettronico, mentre un modulatore passivo è un più semplice elemento di materiale parzialmente trasparente il cui assorbimento ottico diminuisce in funzione dell'intensità luminosa che lo investe. Rispetto a possibili altri iniettori di segnali di eccitazione tale sorgente offre vantaggi in termini di compattezza,

robustezza, affidabilità e basso costo. L'iniezione è necessaria soltanto per l'innesto delle oscillazioni e può essere completamente disabilitata una volta ottenuto funzionamento stabile all'uscita del dispositivo (33).

Ad esempio, nella realizzazione prototipale della presente invenzione, per l'iniezione si usa un laser microchip (laser monolitico costituito da un singolo cristallo con specchi dielettrici, che agisce contemporaneamente da mezzo attivo ed assorbitore saturabile) operante alla lunghezza d'onda di 1064 nm, in regime di Q-switching passivo, con durate impulsi di 300 ps, alla frequenza di ripetizione di 50 kHz. Il laser rimane acceso solo per il tempo necessario a produrre alcuni impulsi, cosa che semplifica notevolmente la sua alimentazione elettrica. Si tratta di un esempio non limitativo.

Una possibile alternativa è rappresentata da un semplice laser a stato solido ad elementi discreti che includa un elemento di guadagno, quale un materiale attivo cristallino, o una guida d'onda attiva o una fibra attiva, ed un elemento di modulazione tali da permettere il funzionamento in Q-switching quando opportunamente pompati da un diodo laser. Un'altra alternativa è rappresentata da un diodo laser a semiconduttore pilotato mediante impulsi di corrente aventi durata dell'ordine del nanosecondo ed amplificato otticamente ad esempio mediante tecnologia in fibra ottica.

Tuttavia, si rimarca come queste alternative potrebbero implicare maggiori costi e complessità realizzativa rispetto al laser microchip con Q-switching passivo.

L'auto modulazione di fase (SPM) (https://it.qiq.wiki/wiki/Self_phase_modulation) è un effetto ottico non lineare dell'interazione luce - materia. Un impulso di luce intenso, quando si propaga in un materiale, induce una modulazione temporale dell'indice di rifrazione del mezzo a causa dell'effetto Kerr ottico. Questa variazione di indice di rifrazione produce una modulazione di fase dell'impulso ottico, determinando un allargamento di spettro.

La miscelazione a quattro onde (FWM) (https://it.qiq.wiki/wiki/Four_wave_mixing) è un fenomeno di intermodulazione nell'ottica non lineare per cui date tre frequenze ottiche f_1 , f_2 e f_3 è possibile generarne una quarta sulla base della condizione $f_1 + f_2 = f_3 + f_4$, che discende dalla conservazione dell'energia. Nel caso "degenere" sono sufficienti due fotoni a frequenza f_1 (campo intenso o "pompa") e un fotone a f_3 (campo debole o "segnale"), posto che $f_2 = f_1$, generando $f_4 = 2 \cdot f_1 - f_3$. Nel caso specifico, essendo f_1 ed f_3 due diverse frequenze (f_3 può nascere da emissione spontanea nell'amplificatore ottico ma anche dalle fluttuazioni quantistiche del vuoto, in assenza di altro), f_4 risulterà essere una nuova frequenza generata, producendo

allargamento spettrale simmetrico ($f_4 - f_1 = f_1 - f_3$).

Il segnale di uscita alla guida d'onda 23 (figura 3) è allargato spettralmente e comprende un picco di ampiezza comparabile a quella del segnale originario generato dal laser 21 ed una base a campana che contiene energia sufficiente a realizzare l'oscillazione nell'oscillatore 32.

La figura 3 rappresenta lo spettro del segnale, ovvero la sua rappresentazione in lunghezza d'onda (inversamente proporzionale alla frequenza in banda ottica).

La scala verticale della figura 3 è logaritmica per evidenziare maggiormente eventuali piedistalli nello spettro, da intendersi come allargamenti spettrali aventi ampiezze di alcuni ordini di grandezza al di sotto rispetto al picco centrale.

Lo spettro del segnale generato dalla sorgente laser di partenza (microchip con Q-switching passivo) ha una banda < 0.1 nm, per cui sarebbe visibile come una strettissima riga in figura 3. Il fenomeno della FWM produce una campana centrale sotto al picco centrale e l'effetto Raman una ulteriore campana laterale, a destra di quella centrale, non indispensabile per il funzionamento dell'oscillatore 32.

In base ai dati sperimentali della richiedente si rileva come tale segnale ottenga l'effetto di un innesco sistematico e affidabile dell'oscillazione. La larghezza spettrale di alcuni nanometri della campana prodotta per FWM nella guida

d'onda 23 dal dispositivo di innesto 31 supporta fluttuazioni di rumore di breve durata (centinaia di fs) ed energia tipicamente < 1 nJ, sufficiente a produrre un allargamento di banda per SPM adatto a stabilire il funzionamento dell'oscillatore 32. I fenomeni di allargamento di banda per SPM e FWM progrediscono contemporaneamente, tuttavia si rimarca il ruolo decisivo delle fluttuazioni di FWM.

Infatti, l'ampiezza di banda prodotta per SPM è proporzionale alla potenza di picco dell'impulso e inversamente proporzionale alla sua durata.

In pratica, la sorgente a microchip (nell'esempio) ha un impulso di per sé troppo lungo per innescare SPM sufficiente: secondo l'invenzione l'impulso generato da tale sorgente produce altresì uno spettro di FWM relativamente ampio, a cui corrisponde una breve fluttuazione di intensità con poca energia ma potenza di picco e durata sufficienti a supportare la banda richiesta all'innesto dell'oscillatore e alla conseguente generazione di impulsi stabili riducibili a circa 100 femtosecondi all'uscita dell'oscillatore, mediante compensazione della dispersione con tecniche note.

Ad esempio, se si usa come guida d'onda 23 una fibra ottica a singolo modo lunga 10 m, con impulsi da 300 ps a banda minima (limite di Fourier), al fine di produrre un piedistallo di alcuni nanometri attraverso FWM, serve energia di impulso dell'ordine di 100 nJ. La lunghezza

ottimale della guida d'onda 23 è dipendente dalla durata ed energia dell'impulso fornito dal dispositivo 21 e dal coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ di 23.

Un **circolatore o rotatore ottico** 25 è interposto tra il nodo 12 ed il dispositivo di accoppiamento 24 per separare il segnale di uscita dal segnale di innesco generato dal dispositivo 31. In questo modo il circolatore o rotatore ottico 25 è configurato per consentire il transito del segnale di innesco dal dispositivo generatore di segnale di innesco 31 al nodo 12 e del segnale di uscita prodotto dall'oscillatore 32 da una prima porta 28 collegata con il nodo 12 ad una seconda porta 29 che funge da uscita. Può ad esempio essere utilizzato un rotatore basato sull'effetto Faraday, che permette propagazione unidirezionale da una terza porta 27 alla prima porta 28 (cammino di iniezione del segnale di innesco 20) e dalla prima porta 28 alla seconda porta 29 (cammino di estrazione). In alternativa, l'uscita dall'oscillatore 32 può essere prelevata da un nodo distinto da quello di iniezione 12. Gli impulsi disponibili alla seconda porta 29 del circolatore o rotatore 25 hanno normalmente durata di alcuni picosecondi e possono essere ulteriormente compressi alla durata finale (dell'ordine di 100 femtosecondi) mediante impiego di un comune **dispositivo dispersivo** 26, che impiega reticolli diffrattivi (eventualmente in fibra ottica) o qualsiasi altro materiale

in grado di fornire dispersione della velocità di gruppo in quantità e segno opportuni. Il circolatore o rotatore 25 normalmente svolge anche funzione protettiva di isolamento ottico per il dispositivo di innesto 31. Il dispositivo dispersivo 26 è provvisto di un'uscita 30 sulla quale sono prelevabili gli impulsi ultracorti. Il dispositivo dispersivo 26 potrebbe essere anche configurato per comprimere gli impulsi disponibili da una qualsiasi uscita dell'oscillatore 32 che non passi dal circolatore o rotatore 25 ad una durata finale dell'ordine di 100 femtosecondi. Sono possibili varianti realizzative a quanto sopra evidenziato.

La figura 4 illustra una variante in cui l'oscillatore comprende un percorso ad anello chiuso in cui sono previsti:

un primo ed un secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta 11 e 16;

dispositivi otticamente trasparenti 13,15 con coefficiente non lineare di Kerr $\chi(3)$ diverso da zero disposti tra i filtri passa banda 11 e 16 e configurati a realizzare un allargamento spettrale per auto-modulazione di fase del segnale che transita attraverso tali dispositivi 13,15;

una guida ottica attiva 14 disposta tra i dispositivi otticamente trasparenti 13, 15 e realizzante un guadagno positivo;

un nodo 12 configurato per ricevere un segnale di innesco atto a stabilire il funzionamento dell'oscillatore 34 (il nodo 12 può essere disposto in una posizione qualsiasi del percorso ad anello);

ulteriori dispositivi non lineari otticamente trasparenti 35, 37 con coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ diverso da zero;

un isolatore 36 configurato ad uno specifico verso di percorrenza della radiazione luminosa (indicata con la freccia) posto in qualsiasi punto entro il percorso ad anello chiuso;

un secondo amplificatore ottico 38, simile ma non necessariamente identico all'amplificatore 14, pompato da un diodo laser 39 pilotato da un generatore di corrente 40, posto fra i dispositivi 35 e 37;

un dispositivo di generazione del segnale di innesco 31 del tipo precedentemente descritto e che comprende:

una sorgente laser 21, configurata per generare un impulso laser avente durata dell'ordine del nanosecondo, necessaria all'innesco dell'oscillatore 34 con durata dell'ordine del nanosecondo;

un sistema di accoppiamento 22 atto ad immettere l'impulso del laser 21 all'interno di una guida d'onda 23 realizzata in un mezzo materiale otticamente trasparente caratterizzato da un coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$

diverso da zero che è configurata per realizzare due distinti effetti al fine di allargare spettralmente l'impulso del laser 21 e precisamente:

- a) auto-modulazione di fase (SPM) e
- b) miscelazione a quattro onde (FWM);

l'uscita della guida d'onda 23 alimenta il segnale di innescio al nodo 12.

Il metodo per la generazione di impulsi dell'ordine di 100 femtosecondi a partire da impulsi dell'ordine di 1 nanosecondo conserva la sua validità se l'oscillatore 32 è sostituito dall'oscillatore ad anello sopra descritto con riferimento alla figura 4. Tale schema presuppone l'assenza dei riflettori terminali 10 e 17 e il collegamento dei filtri 11 e 16 mediante i mezzi non lineari otticamente trasparenti 35 e 37, con l'aggiunta dell'isolatore 36, utile ad imporre uno specifico verso di percorrenza entro l'anello.

In una particolare realizzazione non illustrata, il sistema ottico 22 e la guida d'onda 23 possono essere omessi, e l'impulso del laser 21 accoppiato direttamente nell'oscillatore per esempio al nodo 12, solo a condizione che i dispositivi otticamente trasparenti 13, 15 e la guida d'onda attiva 14 siano dimensionati in modo da generare complessivamente gli effetti non lineari necessari al posto della guida d'onda 23.

Numeri

32 oscillatore;
10,17 riflettori ottici terminali;
11, 16 primo e secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta;
13, 15 dispositivi otticamente trasparenti;
14, 38 guide d'onda attiva;
18, 39 diodi laser di pompa;
19, 40 generatori di corrente;
12 nodo;
31 dispositivo di generazione del segnale di innesco;
20 cammino di iniezione
21 sorgente laser a microchip;
22 sistema ottico;
23 guida d'onda;
24 dispositivo di accoppiamento;
25 circolatore o rotatore ottico;
28 prima porta;
29 seconda porta;
27 terza porta;
26 dispositivo dispersivo;
30 uscita del dispositivo dispersivo 26, ove si rendono disponibili gli impulsi dell'ordine di cento femtosecondi;
35, 37 ulteriori dispositivi non lineari otticamente trasparenti

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo per la compressione di impulsi laser dell'ordine del nanosecondo e conseguente generazione di impulsi ultracorti (33) fino a durate dell'ordine di 100 femtosecondi comprendente un oscillatore (32), formato da:
 - elementi riflettenti di estremità dell'oscillatore (10 e 17);
 - un primo ed un secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta (11 e 16);
 - mezzi otticamente trasparenti (13,15) con coefficiente non lineare di Kerr $\chi(3)$ diverso da zero configurati a realizzare un allargamento spettrale per auto-modulazione di fase del segnale che transita attraverso tali mezzi (13,15);
 - una guida ottica attiva (14) che realizza un guadagno positivo;
 - un nodo (12) configurato per ricevere un segnale di innesto atto a stabilire il funzionamento dell'oscillatore (32);
 - un dispositivo di generazione del segnale di innesto (31), caratterizzato dal fatto che il dispositivo di generazione del segnale di innesto (31) comprende:
 - una sorgente laser (21), configurata per generare un impulso laser avente durata dell'ordine del nanosecondo,

necessaria all'innesco dell'oscillatore (32);

un sistema di accoppiamento (22) atto ad immettere l'impulso del laser all'interno di una guida d'onda (23) realizzata in un materiale otticamente trasparente caratterizzato da un coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ diverso da zero che è configurata per realizzare due distinti effetti al fine di allargare spettralmente l'impulso generato dalla sorgente laser (21) e precisamente:

- a) auto-modulazione di fase (SPM) e
- b) miscelazione a quattro onde (FWM);

l'uscita della guida d'onda (23) alimentando il segnale di innesco al detto nodo (12).

2.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui almeno uno degli elementi riflettenti di estremità dell'oscillatore (10 e 17) incorpora la funzione del corrispondente filtro passa banda (11 e/o 16).

3.- Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui gli elementi riflettenti di estremità dell'oscillatore (10 e 17) sono realizzati da componenti distinti dal primo e dal secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta (11 e 16).

4.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui la guida d'onda attiva è realizzata da una fibra ottica illuminata da un diodo laser di pompa (18) pilotato da un generatore di corrente (19).

5.- Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui un circolatore o rotatore ottico (25) è interposto tra il detto nodo (12) ed il dispositivo di generazione del segnale di innesto (31), per separare il segnale di uscita all'oscillatore dal segnale di innesto generato dal dispositivo (31); detto circolatore o rotatore ottico (25) è configurato per consentire il transito del segnale di innesto dal dispositivo generatore di segnale di innesto (31) al detto nodo (12) e del segnale di uscita prodotto dall'oscillatore (32) da una prima porta (28) collegata con il nodo (12) ad un seconda porta (29) che funge da uscita.

6.- Dispositivo secondo la rivendicazione 5, in cui la seconda porta è collegata con un dispositivo dispersivo (26) configurato per comprimere gli impulsi disponibili alla seconda porta (29) del circolatore o rotatore (25) ad una durata finale dell'ordine di 100 femtosecondi.

7.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui un dispositivo dispersivo (26) è configurato per comprimere gli impulsi disponibili da una qualsiasi uscita dell'oscillatore (32) ad una durata finale dell'ordine di 100 femtosecondi.

8.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la detta guida d'onda (23) è realizzata da una fibra ottica mono-modale.

9.- Dispositivo secondo la rivendicazione 8, in cui la fibra ottica mono-modale presenta lunghezza compresa tra 5 e 15 m.

10.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la guida d'onda presenta coefficiente non lineare di Kerr $\chi(3)$ associato a un indice di rifrazione non lineare $n_2 > 2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$.

11.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la detta una sorgente laser, configurata per generare un impulso laser avente durata dell'ordine del nanosecondo, ha una banda minima definita dal limite di Fourier pari a circa l'inverso della sua durata temporale.

12.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la detta una sorgente laser, è realizzata da un laser a microchip.

13.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la detta una sorgente laser, opera in regime di Q-switching.

14.- Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sorgente laser (21) presenta potenza di picco maggiore di 100 W.

15.- Dispositivo per la compressione di impulsi laser dell'ordine del nanosecondo in impulsi ultracorti (33) fino a durate dell'ordine di 100 femtosecondi in cui l'oscillatore

(32) è realizzato da un percorso ad anello chiuso (34) in cui sono previsti:

un primo ed un secondo filtro passa banda a trasmissione non sovrapposta (11 e 16);

mezzi otticamente trasparenti (13,15) con coefficiente non lineare di Kerr $\chi(3)$ diverso da zero configurati a realizzare un allargamento spettrale per auto-modulazione di fase del segnale che transita attraverso tali mezzi (13, 15);

una guida ottica attiva (14) che realizza un guadagno positivo;

un nodo (12) configurato per ricevere un segnale di innesto atto a stabilire il funzionamento dell'oscillatore (34);

ulteriori mezzi non lineari otticamente trasparenti (35, 36) con coefficiente non lineare di Kerr $\chi(3)$ diverso da zero;

un isolatore (36) disposto in una posizione qualsiasi lungo il percorso ad anello, configurato ad uno specifico verso di percorrenza della radiazione luminosa entro il percorso ad anello chiuso;

un secondo amplificatore ottico (38) posto fra gli ulteriori mezzi non lineari otticamente trasparenti (35) e (37);

un dispositivo di generazione del segnale di innesto

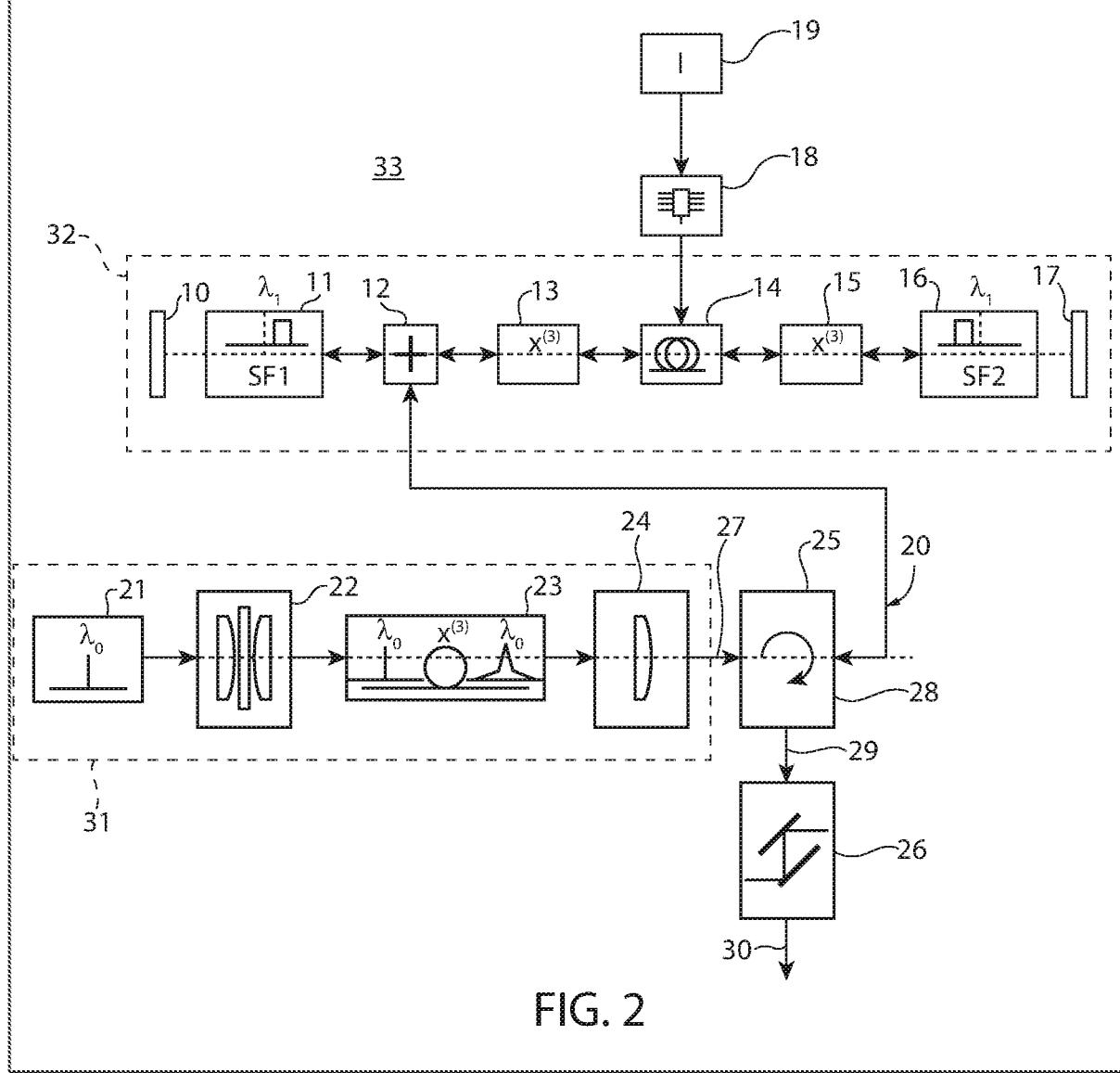
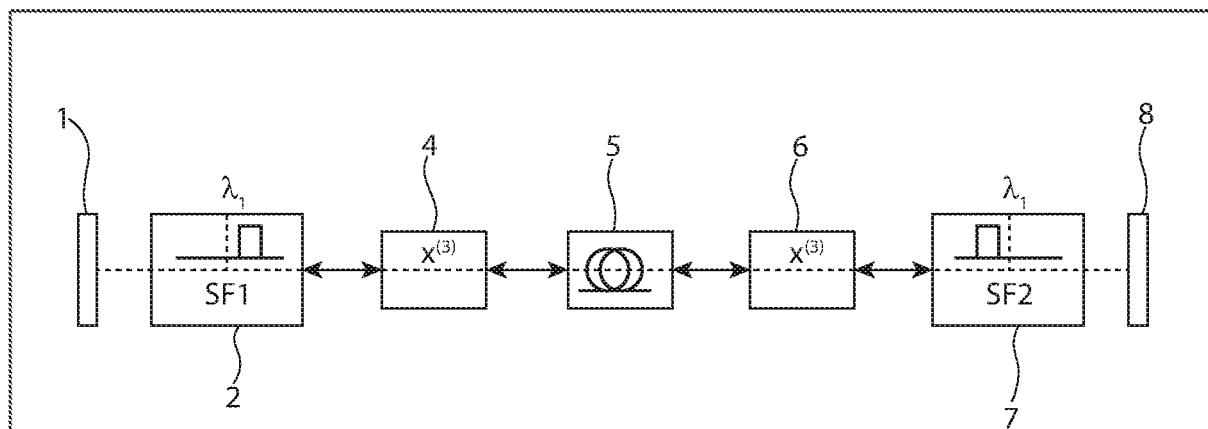
(31), che è caratterizzato dal comprendere:

una sorgente laser (21), configurata per generare un impulso laser avente durata dell'ordine del nanosecondo, necessaria all'innesco dell'oscillatore (34);

un sistema di accoppiamento (22) atto ad immettere l'impulso del laser 21 all'interno di una guida d'onda (23) realizzata in un mezzo materiale otticamente trasparente caratterizzato da un coefficiente non lineare di Kerr $\chi^{(3)}$ diverso da zero che è configurata per realizzare due distinti effetti al fine di allargare spettralmente l'impulso del laser di innesco (21) e precisamente:

- a) auto-modulazione di fase (SPM) e
- b) miscelazione a quattro onde (FWM);

l'uscita della guida d'onda (23) alimentando il segnale di innesco al detto nodo (12).



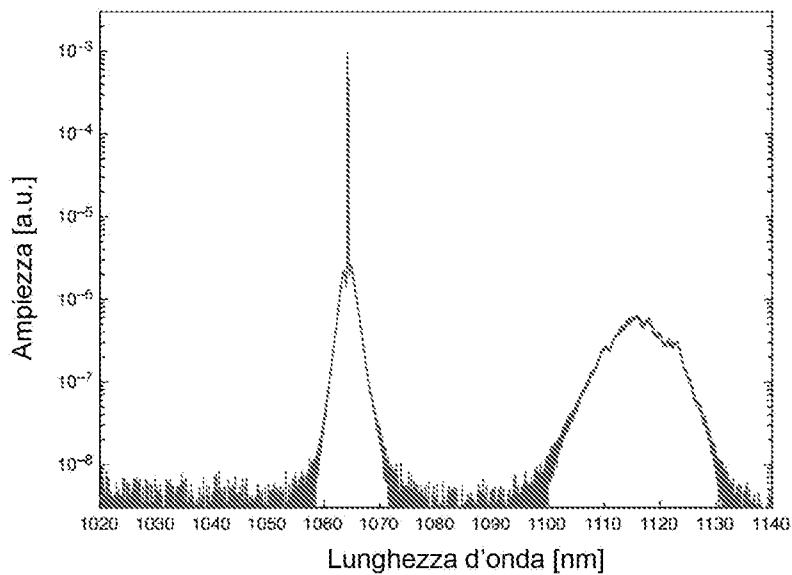


FIG. 3

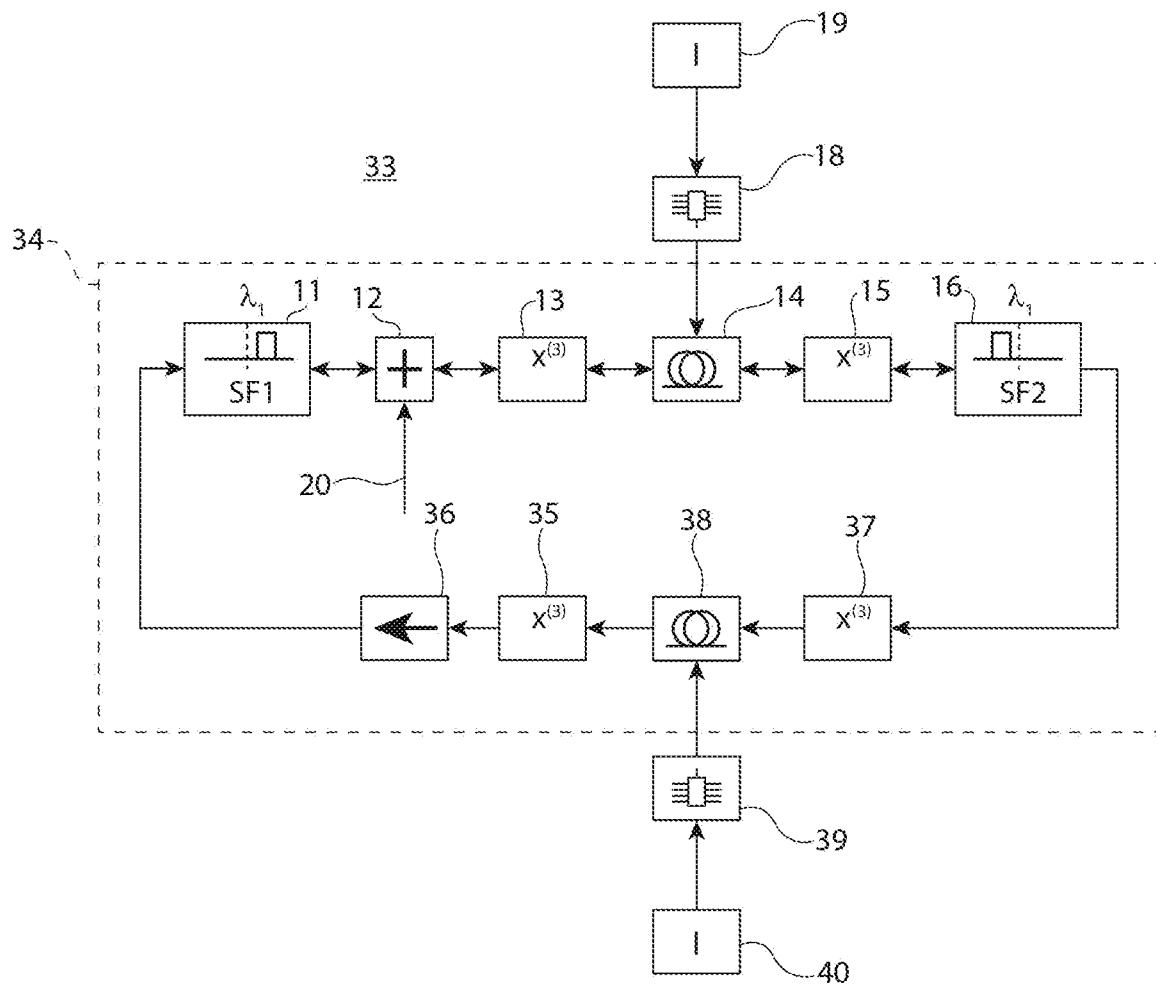


FIG. 4