



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101997900582501
Data Deposito	14/03/1997
Data Pubblicazione	14/09/1998

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	04	N		

Titolo

ACCOPPIATORE OTTICO NON LINEARE

Descrizione dell'invenzione avente per titolo:

"Accoppiatore ottico non lineare"

a nome CSELT - Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A., Via G. Reiss
Romoli 274, 10148 Torino, nazionalità italiana.

Inventori: Domenico CAMPI
Claudio CORIASSO
Luca FAUSTINI
Alessandro STANO

CSELT
Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.

Domanda N.

Depositata il 14 MAR. 1997 TOPA A 000 210

==.==.==.==.==.

La presente invenzione si riferisce ai componenti per sistemi di comunicazione ottica, e più in particolare riguarda un accoppiatore ottico non lineare, utilizzando un reticolo, da utilizzare per la demultiplazione e l'instradamento di segnali ottici.

E' noto che i sistemi di comunicazione ottica si stanno orientando sempre di più verso un trattamento completamente ottico del segnale, soprattutto se si deve operare a velocità di cifra molto elevate, p. es. velocità di cifra dell'ordine delle decine di Gbit o superiori. I sistemi di comunicazione che operano a queste velocità di cifra operano in generale con tecniche a divisione di lunghezza d'onda e richiedono filtri ottici sintonizzabili per la demultiplazione e l'instradamento dei diversi canali. Un'ulteriore esigenza è che i componenti utilizzati siano facilmente integrabili.

Sono stati recentemente proposti filtri basati sull'impiego di guide d'onda con reticoli di Bragg, e in particolare sull'impiego di guide accoppiate mediante reticoli. Questi sono filtri sintonizzabili, in cui i reticoli riflettono la lunghezza d'onda di sintonia e trasmettono le altre lunghezze d'onda: la lunghezza d'onda riflessa dal reticolo associato alla guida

d'ingresso è accoppiata nell'altra guida posta adiacente alla prima ed esce attraverso questa, mentre le lunghezze d'onda trasmesse escono attraverso la prima. Nell'articolo "Spectral characteristics of coupled-waveguide Bragg-reflection tunable optical filter", di J.P. Weber, IEE Proceedings-J, Vol. 140, N. 5, Ottobre 1993, si presentano esempi di filtri a guide accoppiate e in particolare si discutono filtri facenti uso di guide accoppiate in modo controdirezionale, in cui la radiazione riflessa esce dalla seconda guida in verso opposto alla radiazione entrante. Portando il reticolo della prima guida in condizioni di riflessione o di trasmissione per una lunghezza d'onda d'interesse, si può utilizzare il dispositivo come commutatore e inviare la lunghezza d'onda sull'una o sull'altra uscita. La sintonizzazione, e quindi la scelta dell'uscita, è ottenuta con un comando elettrico, come si deduce chiaramente dall'esame della fig. 3 dell'articolo.

La presenza di contatti elettrici dà origine però a capacità parassite che limitano le velocità di commutazione, e quindi la velocità di trasmissione raggiungibile sul sistema. Tipicamente, dispositivi a controllo elettrico non possono essere utilizzati per velocità superiori a una quarantina di Gbit/s. Vista la crescita imponente di sistemi che richiedono bande levate, quali sistemi diffusivi, sistemi di comunicazione tipo Internet ecc., stanno diventando d'interesse componenti che permettano di ottenere velocità di cifra molto superiori a quelle indicate, p. es velocità di qualche centinaio di Gbit/s.

La possibilità di realizzare l'accoppiamento controdirezionale tra due guide mediante un reticolo comandato otticamente è illustrata da G. I. Stegeman e E. M. Wright nell'articolo "All-optical waveguide switching", Optical and Quantum Electronics 22, 1990, pagg. 95 e segg. L'articolo descrive però solo il principio teorico e non la realizzazione pratica di un dispositivo che sfrutta il principio.

L'invenzione fornisce un accoppiatore comprendente: una prima e una seconda guida d'onda, di cui la prima definisce una porta d'ingresso e una prima porta di uscita

del dispositivo e la seconda definisce una seconda porta di uscita del dispositivo; un reticolo per accoppiare controdirezionalmente la prima e la seconda guida e trasferire un segnale ottico d'informazione alla prima o alla seconda uscita, rispettivamente per trasmissione o per riflessione; mezzi per iniettare nella prima guida un segnale ottico d'informazione e un eventuale segnale di comando atto a portare il reticolo da una condizione di riflessione a una di trasmissione per una lunghezza d'onda prestabilita o viceversa; e mezzi per prelevare il segnale d'informazione da dette uscite. L'accoppiatore è caratterizzato dal fatto che il segnale di comando è un segnale ottico, e dal fatto che la seconda guida è una guida ad U che presenta un primo e un secondo ramo principale paralleli alla prima guida e un ramo intermedio perpendicolare agli altri due e raccordato a questi mediante microspecchi, il primo dei due rami principali essendo accoppiato alla prima guida tramite il reticolo e il secondo ramo principale definendo detta seconda uscita, posta dalla stessa parte del dispositivo in cui si trova la prima uscita.

A maggior chiarimento si fa riferimento ai disegni allegati, in cui:

- la fig. 1 è una vista schematica in pianta del dispositivo;
- le figure 2, 3 sono viste in sezione; e
- le figure 4, 5 sono diagrammi che illustrano il funzionamento dell'invenzione usata come commutatore.

Con riferimento alla fig. 1, il dispositivo secondo l'invenzione, indicato nel suo complesso con 1, è costituito da una eterostruttura a pozzi quantistici multipli su una delle cui facce principali è realizzata una coppia di guide ottiche 2, 3, in particolare guide a cresta. La guida 2 definisce una porta d'ingresso 4 e una prima porta di uscita 5 (uscita trasmissiva) e la guida 3 definisce una seconda porta di uscita 6 (uscita per riflessione). Nell'uso tali porte sono collegate a rispettive linee di trasmissione ottiche 7, 8, 9, in particolare fibre ottiche monomodo. Un convenzionale accoppiatore o altro dispositivo

equivalente, non rappresentato, permette di introdurre nella fibra d'ingresso 7 sia un segnale ottico d'informazione sia un segnale ottico di comando o di pompa, di lunghezza d'onda diversa da quella del segnale d'informazione. L'uso di un segnale ottico di comando consente di ottenere velocità di commutazione molto superiori a quelle ottenibili con un comando elettrico, grazie all'eliminazione delle capacità parassite legate alla esistenza di contatti elettrici e di fili per l'alimentazione.

La guida 3 ha sostanzialmente un andamento a U, con due rami 3A, 3C paralleli fra loro e alla guida 2, e un terzo ramo 3B di raccordo tra gli altri due. Uno dei rami paralleli, in particolare il ramo 3A è adiacente alla guida 2 ed è accoppiato a questa controdirezionalmente mediante un reticolo 10, del tipo a reazione distribuita, che, a seconda della sua sintonizzazione, o accoppia nella fibra 3 o trasmette all'uscita 5 una radiazione entrante a una lunghezza d'onda prestabilita.

Il reticolo 10 deve essere presente almeno nella zona tra la guida 2 e il ramo adiacente 3A della guida 3, per essere sensibile alla intensa coda di campo che si propaga in tale regione. Tuttavia, ragioni di semplicità di fabbricazione possono suggerire di realizzare il reticolo in modo che si estenda anche almeno in parte sopra le guide 2, 3A.

Il tratto 3B della guida 3 è disposto sostanzialmente ad angolo retto rispetto ai tratti 3A, 3C e il trasferimento della radiazione da un ramo al successivo della guida 3 è ottenuto mediante microspecchi 11, 12. Si preferisce l'uso di microspecchi rispetto alla realizzazione di zone di raccordo curvilinee in quanto il raggio di queste non può essere ridotto al di sotto di un certo limite, perché altrimenti le perdite per curvatura sarebbero eccessive: di conseguenza le dimensioni del dispositivo possono essere mantenute limitate. Inoltre, il comportamento degli specchi in termini di diafonia tra canali adiacenti è molto migliore.

La distanza tra la guida 2 e il tratto 3A della guida 3 e la lunghezza del tratto 3B devono essere tali da consentire il montaggio delle fibre 8, 9 da collegare alle porte di uscita; vantaggiosamente la disposizione delle guide sarà tale che l'interasse tra la guida 2 e il tratto 3C corrisponda all'interasse tra due fibre 8, 9 disposte affiancate (quindi sostanzialmente 125 mm).

La realizzazione a U della guida 3 consente un buon disaccoppiamento tra l'ingresso 4 e l'uscita 6 e un agevole montaggio delle fibre ottiche di ingresso e uscita 8, 9, e, soprattutto, un allineamento contemporaneo di queste.

Nelle figure 2, 3 sono rappresentate due viste in sezione del dispositivo rispettivamente secondo un piano perpendicolare alla guida 2 e secondo un piano perpendicolare ai solchi del reticolo 10. Il dispositivo comprende un substrato 100 di InP drogato N, sul quale vengono cresciuti uno strato tampone 101 di InP (in un esempio pratico di realizzazione, con lo spessore di 0,6 mm), la pila di pozzi quantistici multipli 102 e di barriere 103 (p. es. 30 pozzi di $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ spessi 5,5 nm separati da barriere di InP spesse 10 nm) e infine lo strato di copertura 104, anch'esso di InP, spesso 0,3 mm. In quest'ultimo strato sono realizzate le guide 2, 3 e il reticolo 10 che, nell'esempio di realizzazione, aveva una lunghezza di 300 mm e un periodo di 0,241 mm. I tratti adiacenti 2, 3A delle guide erano realizzati a una distanza di 3 mm. Le tecniche di crescita dei vari strati sono quelle usuali nella tecnica (epitassia a fasci chimici - chemical beam epitaxy) per i vari strati del dispositivo e attacco ionico reattivo per gli specchi e il reticolo).

Il principio di funzionamento del dispositivo descritto è evidente, una volta che si tenga presente che il reticolo 10 presenta, in condizioni lineari, cioè in assenza di impulsi di pompa, una banda di rilezione in trasmissione attorno alla lunghezza d'onda di Bragg e, in corrispondenza di questa, una banda passante in riflessione. Pertanto una

radiazione iniettata nella guida 2 passa all'uscita 5 se la sua lunghezza d'onda è esterna sia alla banda di reiezione in trasmissione che alla banda passante in riflessione del reticolo 10, e passa nella guida 3 uscendo attraverso la porta 6 se la sua lunghezza d'onda è compresa nella banda di reiezione in trasmissione e nella banda passante in riflessione del reticolo 10. In presenza di un impulso di comando di potenza tale che l'energia complessiva della radiazione entrante supera la soglia di non linearità, si provoca uno spostamento sia della banda di reiezione in trasmissione sia della banda passante in riflessione. Questo spostamento, come noto, dipende dal passo del reticolo e dall'indice di rifrazione, e quindi dalla potenza iniettata. Pertanto, con un'opportuna scelta della lunghezza d'onda del segnale d'informazione e della potenza associata a tale segnale e all'impulso di comando, si può far sì che, in condizioni lineari, il reticolo trasmetta il segnale d'informazione e commuti dal funzionamento in trasmissione a quello in riflessione in presenza dell'impulso di comando che porta il dispositivo in condizioni non lineari.

Inviando nel dispositivo un fascio contenente due lunghezze d'onda, mediante gli impulsi di pompa si possono inviare alternativamente l'una o l'altra sull'uscita trasmissiva o su quella in riflessione, realizzando una vera e propria funzione cross-bar.

Le figure 4, 5 illustrano a titolo di esempio il comportamento del dispositivo nel caso di un segnale d'ingresso comprendente due lunghezze d'onda rispettivamente a 1559 nm e 1557 nm in assenza (Fig. 4) o presenza (Fig. 5) dell'impulso di comando, la cui lunghezza d'onda era 1640 nm. Nelle ordinate si è riportata la potenza di uscita P.U. (in unità arbitrarie) e in ascisse il tempo (in nanosecondi). Nella fig. 4 la linea A rappresenta il segnale di uscita dalla porta 5 e la linea B quello di uscita dalla porta 6; nella fig. 5 la linea C rappresenta il segnale di uscita dalla porta 5 e la linea D quello di uscita dalla porta 6: Si vede chiaramente il comportamento complementare delle due lunghezze

d'onda nei due casi.

Per ottenere un funzionamento corretto del dispositivo, la potenza degli impulsi di comando deve essere tale da non indurre effetti rilevabili di non linearità dovuti a portatori virtuali, quali l'effetto Stark ottico. Preferibilmente tale potenza è mantenuta a un livello inferiore di circa 3 ordini di grandezza inferiore a quello che darebbe origine a tali effetti, in particolare una potenza dell'ordine di 1 pJ.

E' evidente che quanto descritto è dato unicamente a titolo di esempio non limitativo e che varianti e modifiche sono possibili senza uscire dal campo di protezione dell'invenzione.

CSELT
Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.

Rivendicazioni

1. Accoppiatore ottico non lineare in guida ottica integrata, comprendente: una prima e una seconda guida d'onda (2, 3), di cui la prima definisce una porta d'ingresso (4) e una prima porta di uscita (5) del dispositivo (1) e la seconda definisce una seconda porta di uscita (6) del dispositivo (1); un reticolo (10) per accoppiare controdirezionalmente la prima e la seconda guida (2, 3) e trasferire un segnale ottico d'informazione alla prima o alla seconda uscita (5, 6), rispettivamente per trasmissione o per riflessione; mezzi (7) per iniettare nella prima guida il segnale ottico d'informazione e un eventuale segnale di comando atto a portare il reticolo da una condizione di riflessione a una di trasmissione per una lunghezza d'onda prestabilita o viceversa; e mezzi (8, 9) per prelevare il segnale d'informazione da dette uscite; caratterizzato dal fatto che il segnale di comando è un segnale ottico, e dal fatto che la seconda guida (3) è una guida ad U che presenta un primo e un secondo ramo principale (3A, 3C) paralleli alla prima guida (2) e un ramo intermedio (3B) perpendicolare agli altri due e raccordato a questi mediante microspecchi (11, 12), il primo (3A) dei due rami principali essendo accoppiato alla prima guida (2) tramite il reticolo (10) e il secondo ramo principale (3B) definendo detta seconda uscita (6), posta dalla stessa parte del dispositivo in cui si trova la prima uscita (5).

2. Accoppiatore secondo la riv. 1, caratterizzato dal fatto che il reticolo (10) è realizzato almeno nella regione compresa tra la prima guida (2) e il primo ramo principale (3A) della seconda guida (3),

3. Accoppiatore secondo la riv. 2, caratterizzato dal fatto che il reticolo (10) è realizzato in modo da sovrapporsi almeno parzialmente alla prima guida (2) e al primo ramo principale (3A) della seconda.

4. Accoppiatore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, caratterizzato

dal fatto che la distanza tra la prima guida (2) e il primo ramo principale (3A) della seconda guida, e tra questo e il secondo ramo principale (3B) sono tali che la distanza tra gli assi di detta prima guida (2) e di detto secondo ramo principale (3B) della seconda guida corrisponda sostanzialmente alla distanza tra gli assi di due fibre ottiche monomodo.

5. Accoppiatore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 4, caratterizzato dal fatto che detto segnale d'informazione comprende due lunghezze d'onda tali che:

- la prima lunghezza d'onda è esterna a una banda di reiezione in trasmissione e a una corrispondente banda passante in riflessione del reticolo (10) quando questo opera in condizioni lineari, nelle quali nella prima guida (2) viene lanciato il solo segnale d'informazione, ed è compresa nella banda di reiezione in trasmissione e nella banda passante in riflessione del reticolo (10) quando questo opera in condizioni non lineari, nelle quali nella prima guida (2) vengono lanciati il segnale d'informazione e un impulso di comando;
- la seconda lunghezza d'onda è compresa nella banda di reiezione in trasmissione e nella banda passante in riflessione del reticolo (10) quando questo opera in condizioni lineari, ed è esterna alla banda di reiezione in trasmissione e alla banda passante in riflessione del reticolo (10) quando questo opera in condizioni non lineari.

6. Accoppiatore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5, caratterizzato dal fatto che le guide (2, 3) e il reticolo (10) sono realizzati sulla superficie di una struttura a pozzi multipli quantistici.

CSELT
Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A.
Il Responsabile Proprietà Industriale



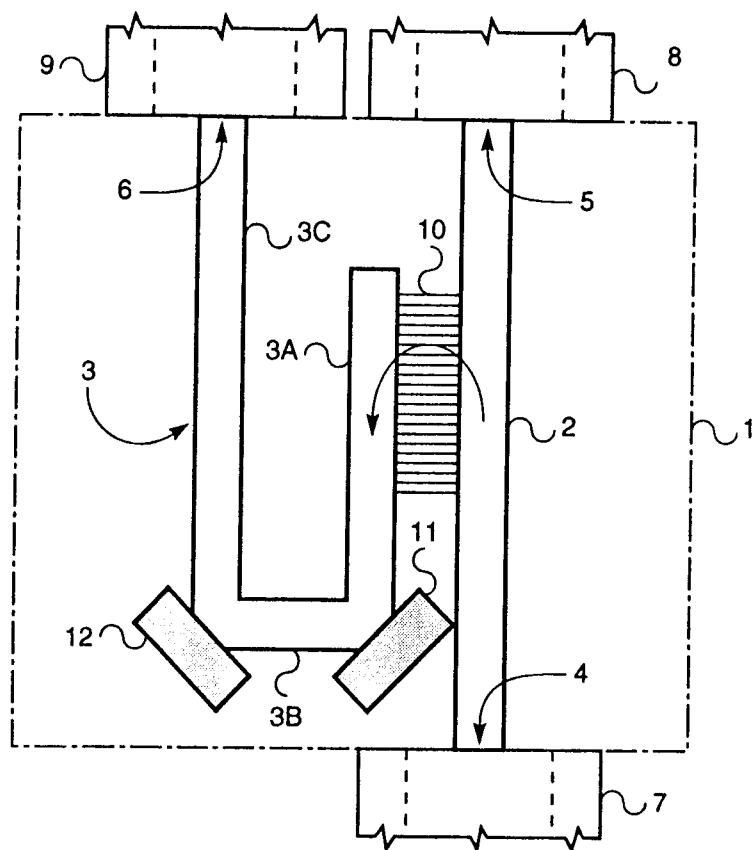


Fig. 1

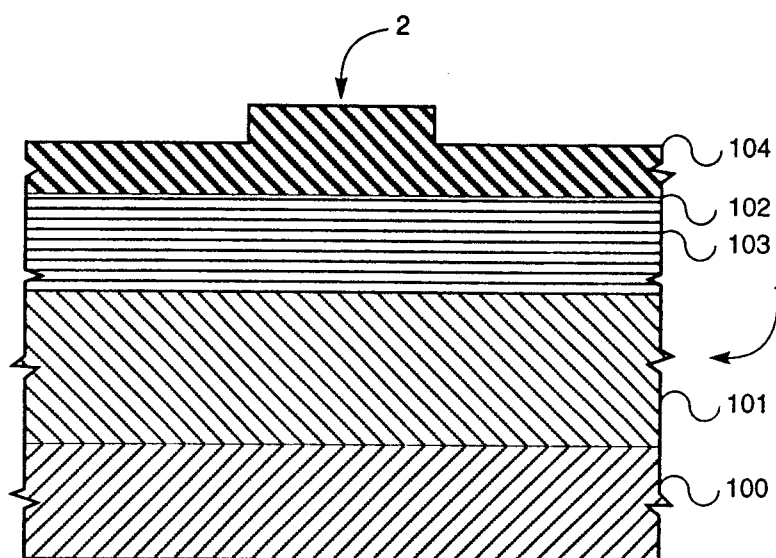


Fig. 2

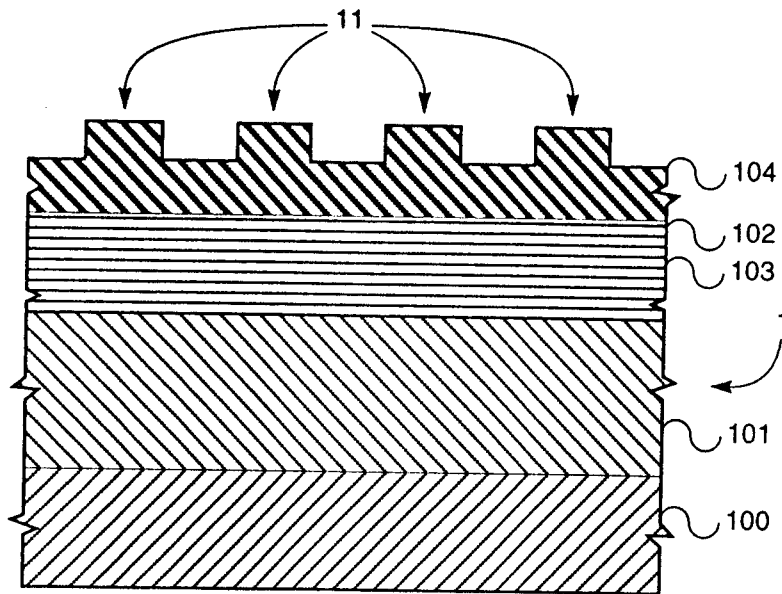


Fig. 3

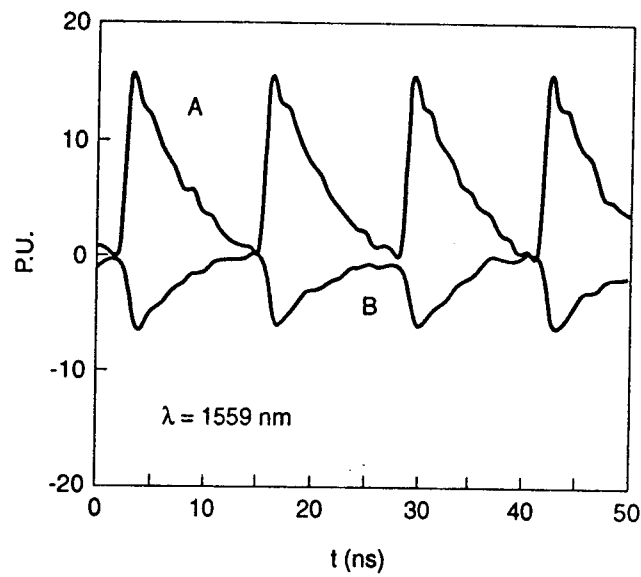


Fig. 4

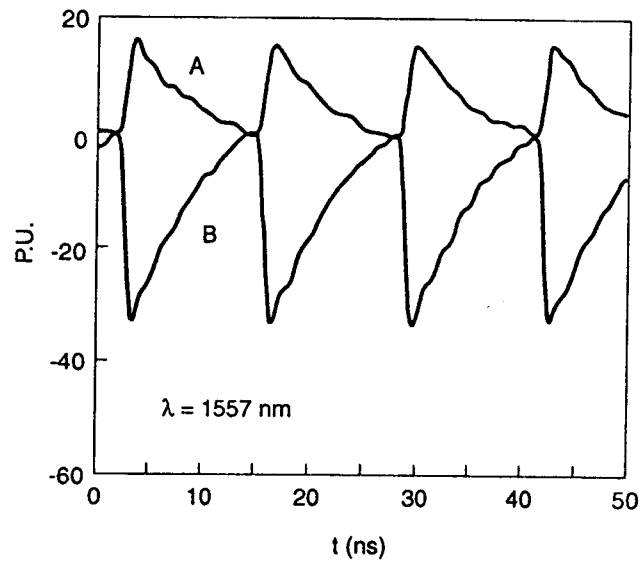


Fig. 5