



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101990900133096
Data Deposito	25/07/1990
Data Pubblicazione	25/01/1992

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	S		

Titolo

METODO ED APPARATO PER FORNIRE LUCE LASER NEL CAMPO DELL'ULTRAVIOLETTO
CON ALTA POTENZA MEDIA ED ALTA FREQUENZA DI RIPETIZIONE.

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:
METODO ED APPARATO PER FORNIRE LUCE LASER NEL CAMPO
DELL'ULTRAVIOLETTO CON ALTA POTENZA MEDIA ED ALTA
FREQUENZA DI RIPETIZIONE; a nome dell'ISTITUTO
NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE, di nazionalità italiana
con sede a Frascati (Roma), Via Enrico Fermi 40.

Inventori designati: Gianfranco GIORDANO e Giovanni
MATONE.

48164A90

La presente invenzione riguarda laser a
raggi ultravioletti e più precisamente un metodo ed un
apparato per fornire un fascio laser
nell'ultravioletto con alta potenza media. Il trovato
può trovare applicazione in numerosi settori
industriali, dall' editoria alla produzione di
circuiti stampati, come pure in campo medicale.

E' noto che i laser attualmente disponibili
nella regione di lunghezza d'onda inferiore a 300 nm
sono sostanzialmente di quattro tipi:

- a) laser ad eccimeri: forniscono potenze fino
ad un centinaio di Watt ma a frequenze di ripetizione
molto basse (fino a qualche centinaio di Hz);
- b) dye-lasers: questi possono operare sia in
continua sia in regime pulsato (qualche KHz) dove
forniscono potenze di decine di milliwatt nel primo

Studio Ferrario

caso e di qualche Watt nel secondo;

c) gas-lasers: questi operano solo in continua e con potenze molto basse, dell'ordine del centinaio di milliwatt;

d) laser a stato solido con duplicazione di frequenza: operano ad alta frequenza di ripetizione con potenze inferiori al Watt.

Compito del presente trovato è quello di superare i limiti dei laser in commercio, fornendo luce laser a 266 nm con una potenza media inaspettatamente elevata, e ad una frequenza tipo di 100 MHz, a partire da un laser commerciale all'infrarosso.

In letteratura è stata già riportato il raddoppiamento della frequenza della luce IR di un laser Nd-YAG a seguito di due passate attraverso un cristallo LiNbO_3 .

Il concetto inventivo che sta alla base del presente trovato è quello di associare ad una geometria a passate multiple, più generale di quella indicata, un anello di accumulazione per fotoni, in completa analogia con gli anelli di accumulazione abitualmente impiegati per elettroni e protoni.

L'invenzione prevede infatti la conversione di luce infrarossa proveniente da un laser commerciale

nell'infrarosso, ad esempio un laser Nd-YAG "mode-locked" in luce verde, raddoppiando la frequenza in un cristallo non lineare disposto all'interno di una cavità ottica ad anello che agisce come anello di accumulazione per la luce verde.

La luce verde che è stata generata si propaga attorno all'anello ed è parzialmente convertita in UV in un secondo cristallo duplicatore, anch'esso disposto nella cavità.

La luce verde residua prosegue lungo l'anello verso il primo duplicatore dove, se il tempo di transito dell'anello è esattamente conforme alla frequenza di ripetizione del laser IR "mode-locked", viene addizionata coerentemente alla luce verde generata dal successivo impulso IR.

E' da notare come la presenza della cavità ad anello consenta vantaggiosamente di:

- 1) ottenere un'elevata efficienza di conversione IR- verde come conseguenza della somma in fase del verde generato nel primo cristallo duplicatore e di quello generato precedentemente e circolante in cavità;
- 2) ottenere all'ingresso del secondo cristallo duplicatore, grazie al processo di accumulazione in cavità, livelli di potenza di verde non ottenibili con

laser convenzionali.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno evidenti dalla descrizione particolareggiata che segue facendo riferimento alle allegate tavole di disegni che ne mostrano, a solo titolo di esempio non limitativo, una preferita forma di realizzazione . Nei disegni:

la fig.1 è uno schema base dell'apparato laser con la cavità ottica ad anello;

le figg. 2a e 2b mostrano rispettivamente la composizione della luce nel quarzo KTP e il circuito equivalente con il quarzo ausiliario di lunghezza Z_x .

Con riferimento alle figure, lo schema di fig.1 mostra una semplice forma realizzativa del trovato in cui IR è il fascio di luce infrarossa proveniente da una sorgente laser di tipo commerciale, ad esempio un laser Nd-YAG, con potenza d'uscita di 30 W, operante in regime di mode-locking.

C_1 è un cristallo non lineare per la duplicazione IR-verde (ad esempio KTP), C_2 è un cristallo non lineare per la duplicazione verde/UV (ad esempio KD^*P oppure $\beta-BaB_2O_4$); M_1, M_2, M_3, M_4 sono specchi totalmente riflettenti per la luce verde; L_1, L_2, L_3, L_4 sono lenti che servono per focalizzare il verde nei due cristalli C_1 e C_2 ed a stabilizzare la

cavità; P_1 è un prisma usato per sovrapporre sulla stessa traiettoria l'infrarosso in ingresso con il verde circolante in cavità, P_2 è un prisma usato per estrarre dalla cavità l'infrarosso non convertito dal primo cristallo C_1 , P_4 è un prisma usato per estrarre dalla cavità l'ultravioletto generato dal secondo cristallo.

Consideriamo il primo impulso di luce infrarossa IR che viene emesso dal laser ed arriva al cristallo C_1 ; detta I_1 la sua potenza, all'uscita del cristallo C_1 si avrà un impulso di IR residuo ed un impulso di verde la cui potenza sarà determinata dall'efficienza di conversione del cristallo C_1 tramite la formula

$$\xi_A = \tanh^2 (Z_1 \sqrt{K_1 \cdot I_1}) \quad (1a)$$

dove Z_1 è la lunghezza del cristallo e K_1 è un coefficiente specifico del tipo di cristallo.

L'impulso di IR residuo lascerà quindi la cavità dopo il prisma P_2 , mentre l'impulso di verde raggiungerà con potenza I_c il cristallo C_2 .

Con lo stesso meccanismo descritto per C_1 , all'uscita di C_2 si avrà un impulso di UV di potenza I_{uv} data da

$$I_{uv} = \xi_2^* I_c \quad ; \quad \xi_2 = \tanh^2 (Z_2 \sqrt{K_2 \cdot I_c}) \quad (1b)$$

con Z_2 e K_2 con gli stessi significati di prima per C_1 .

Quest'impulso di UV lascia la cavità dopo il prisma P_4 , mentre l'impulso di verde residuo continuerà il circolo dell'anello fino a raggiungere il cristallo C_1 con potenza $I(A)$, dove, se il tempo di transito (rivoluzione) del verde nell'anello sarà stato esattamente uguale al periodo di ripetizione degli impulsi di IR, entrerà nel cristallo C_1 insieme al secondo impulso di IR emesso.

L'efficienza di conversione da IR a verde sarà questa volta influenzata dalla presenza del verde precedentemente generato.

Infatti, come illustrato in Fig.2a e 2b, la situazione di IR e verde che arrivano insieme nel cristallo, può essere assimilata al caso di aver avuto un impulso di IR di potenza I_{in} che è stato convertito in un primo cristallo di lunghezza Z_x , tale da avere alla sua uscita un IR residuo di potenza I_1 ed un verde di potenza $I(A)$ che entrano poi nel secondo cristallo di lunghezza Z_1 .

Si vede dunque che è come se si avesse avuto

a disposizione un laser di potenza $I_{in} = I_1 + I(A)$, quindi maggiore di quella del laser vero, ed un cristallo di lunghezza $Z_x + Z_1$. Questo spiega perchè si otterrà un'efficienza di conversione IR → verde molto alta.

Pertanto, quando dopo un numero sufficiente di passaggi in cavità si sarà raggiunto l'equilibrio, si avrà che quasi tutto l'infrarosso del laser verrà convertito in verde che così raggiungerà una potenza molto alta.

Questo porterà ad un innalzamento anche dell'efficienza di conversione verde → UV. Infatti la potenza di UV che lascerà la cavità sarà uguale alla potenza di IR che vi entra meno l'IR residuo, diminuita della potenza persa dal verde per riflessioni o assorbimento nei vari elementi ottici della cavità. In totale, si ottiene un'efficienza di conversione dall'IR all'UV dell'ordine del 70%. Così impiegando ad esempio un laser commerciale nell'infrarosso Nd/YAG con potenza di uscita di 30 W operante in regime di mode-locking, l'apparato laser secondo il trovato fornisce luce laser a 266nm con una potenza media fino a 20 W.

E' opportuno evidenziare una caratteristica vantaggiosa della combinazione tra una geometria a

passate multiple e la cavità ottica ad anello dell'apparato descritto: ogni causa che dà luogo ad una caduta del rendimento di conversione della singola passata ha un piccolo impatto sui livelli di potenza raggiunti all'equilibrio. Tanto minore è l'efficienza di conversione istantanea, tanti più passaggi attorno all'anello sono richiesti per raggiungere grosso modo la stessa efficienza di conversione di equilibrio. Per esempio, riducendo entrambi i valori K_1 e K_2 nelle equazioni 1a e 1b, di un fattore 2, la potenza UV all'equilibrio risulta diminuita di circa il 13%. Corrispondentemente, il numero di passate necessarie per raggiungere l'equilibrio va da 6 a 11, che è sempre ben entro i limiti imposti dal tempo di coerenza atteso del laser Nd-YAG in regime di mode-locking. Con queste considerazioni, la cavità ad anello sposta il carico delle difficoltà dal mantenimento di una efficienza di conversione elevata per singola passata al controllo della qualità del fascio e della lunghezza del percorso ottico. Sebbene quest'ultima non sia irrilevante, esso è molto meno problematica.

Data la sua caratteristica di fornire, a differenza dei sistemi noti, un fascio laser nell'ultravioletto praticamente in continua e con alta

potenza media, l'apparato ora descritto può trovare svariate applicazioni sia in campo industriale che medicale. Fra le più significative possiamo citare :

la pantografia laser, dove luce laser nell'ultravioletto viene usata per incidere direttamente i circuiti stampati sui wafers di semiconduttore e dove attualmente sono usati laser a Nd/YAG quadruplicati in frequenza in maniera tradizionale;

la litografia laser, che è usata estensivamente per la stampa dall'industria editoriale dove attualmente si è costretti ad usare lunghezze d'onda più lunghe ottenute con laser ad Argon;

l'angioplastica, che consente la rimozione dei coaguli sanguigni che si formano nelle arterie. Un laser nell'ultravioletto ad alta potenza come quello oggetto del presente trovato è uno strumento ideale per questo scopo poichè le pareti delle arterie assorbono ultravioletto molto meno di quanto non facciano i coaguli.

Il presente trovato è stato descritto ed illustrato in una sua preferita forma di realizzazione. Si intende peraltro che numerose varianti e modifiche possono essere apportate dagli esperti del ramo senza uscire dall'ambito di

protezione della presente privativa industriale come definito dalle rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

① Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto con alta potenza media caratterizzato dal fatto che comprende una sorgente laser convenzionale nell'infrarosso, un primo cristallo non lineare atto a duplicare in frequenza il fascio di tale laser in un laser verde, una cavità ottica ad anello per l'accumulazione della luce verde, nella quale è disposto detto primo cristallo, ed un secondo cristallo non lineare disposto in detta cavità che a sua volta converte il verde in ultravioletto.

② Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto come alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che la cavità ottica ad anello comprende a monte di detto primo cristallo un prisma per sovrapporre sulla stessa traiettoria l'infrarosso in ingresso proveniente dalla sorgente laser convenzionale nell'infrarosso con il verde circolante in cavità, e a valle dello stesso primo cristallo, un secondo prisma per estrarre dalla cavità l'infrarosso non convertito dal primo cristallo.

③ Apparato per fornire un fascio laser

Studio Ferrario

protezione della presente privativa industriale come definito dalle rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

① Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto con alta potenza media caratterizzato dal fatto che comprende una sorgente laser convenzionale nell'infrarosso, un primo cristallo non lineare atto a duplicare in frequenza il fascio di tale laser in un laser verde, una cavità ottica ad anello per l'accumulazione della luce verde, nella quale è disposto detto primo cristallo, ed un secondo cristallo non lineare disposto in detta cavità che a sua volta converte il verde in ultravioletto.

② Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto come alla rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che la cavità ottica ad anello comprende a monte di detto primo cristallo un prisma per sovrapporre sulla stessa traiettoria l'infrarosso in ingresso proveniente dalla sorgente laser convenzionale nell'infrarosso con il verde circolante in cavità, e a valle dello stesso primo cristallo, un secondo prisma per estrarre dalla cavità l'infrarosso non convertito dal primo cristallo.

③ Apparato per fornire un fascio laser

Studio Ferrario

nell'ultravioletto come alle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che il verde in uscita dal secondo prisma viene riflesso, attraverso una serie di specchi totalmente riflettenti per la luce verde, al secondo cristallo duplicatore .

④ Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto come alle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che a valle di detto secondo duplicatore è montato un prisma per estrarre dalla cavità l'ultravioletto generato dal secondo cristallo duplicatore.

⑤ Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto come alle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che comprende mezzi per mantenere il tempo di rivoluzione del verde nell'anello, uguale al periodo di ripetizione degli impulsi della sorgente laser all'infrarosso impiegata in modo che l'impulso di verde proveniente dal prisma a valle del secondo cristallo entri nel primo cristallo insieme al secondo impulso di infrarosso emesso.

⑥ Apparato per fornire un fascio laser nell'ultravioletto a partire da un laser commerciale nell'infrarosso, utilizzante un primo cristallo non lineare per duplicare la luce infrarossa, una cavità

ottica ad anello per accumulare potenza elevata nel visibile ed un secondo cristallo non lineare per raddoppiare la luce verde nel campo dell'ultravioletto, come sostanzialmente descritto ed illustrato nelle allegate tavole di disegni.

⑦ Metodo per fornire luce laser nel campo dell'ultravioletto con potenza media elevata, caratterizzato dal fatto di comprendere le seguenti fasi:

 duplicare la luce infrarossa di un laser commerciale nell'infrarosso in un cristallo non lineare;

 iniettare la luce verde così ottenuta in una cavità anulare ad accumulo per accumulare potenza elevata nel visibile; e

 duplicare la luce verde nel campo dell'ultravioletto mediante un secondo cristallo non lineare.

⑧ Metodo per fornire luce laser nel campo dell'ultravioletto con potenza media elevata come alla rivendicazione precedente caratterizzato dal fatto che il tempo di rivoluzione del verde nell'anello è mantenuto uguale al periodo di ripetizione degli impulsi della sorgente laser nell'infrarosso utilizzata.

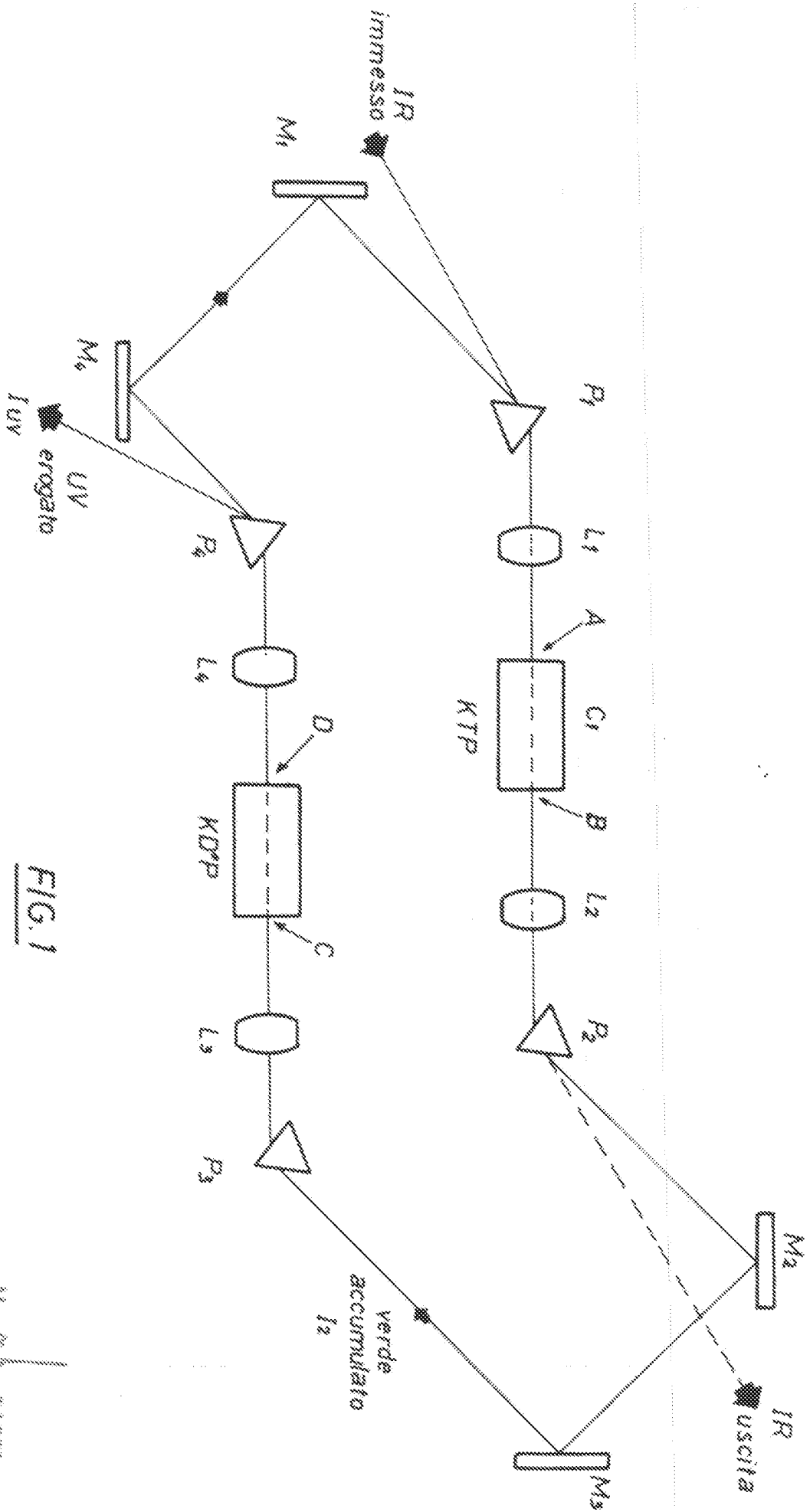


FIG. 1

Maurizio SARRI
 Studio SARRI
 Studio FERRARIO

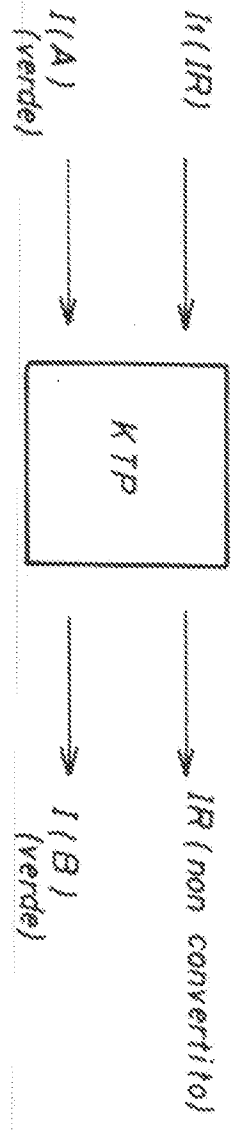


FIG. 2a

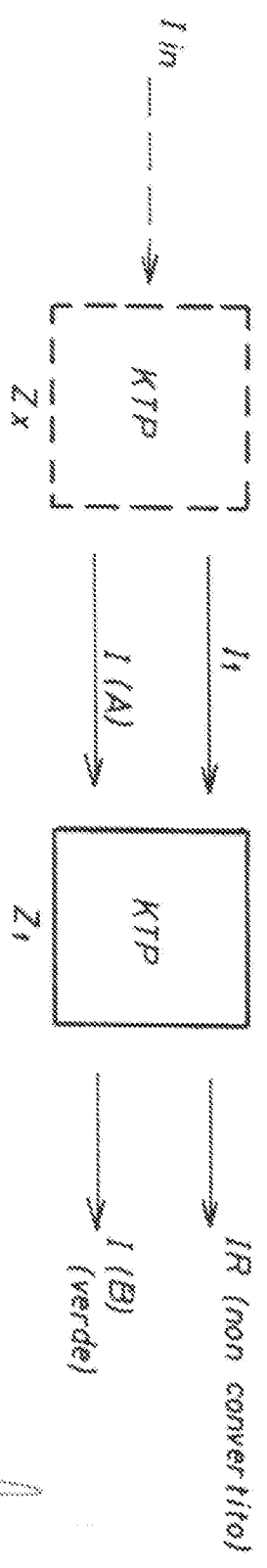


FIG. 2b

Maurizio SARPI
 Kollo
 Syddid FERRARIO