MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	**102009901774993**
Data Deposito	**19/10/2009**
Data Pubblicazione	**19/04/2011**

Classifiche IPC

Titolo

APPARATO PER L'INDIVIDUAZIONE DEL PUNTO FINALE DEL PROCESSO DI INCISIONE LASER SU CELLE SOLARI MULTISTRATO E RELATIVO METODO.

Dr. Ing. Mario Alberto Manlio Rausa

DESCRIZIONE

dell'invenzione industriale avente per titolo:

"Apparato per l'individuazione del punto finale del processo di incisione laser su celle solari multistrato e relativo metodo."

a nome: LASER POINT s.r.l.

* * * *

La presente invenzione concerne un apparato per l'individuazione del punto finale del processo di incisione laser su una cella solare multistrato ed il relativo metodo.

L'incisione laser è uno dei processi rilevanti nella produzione industriale delle celle solari a film sottile, mediante il quale si definiscono sia la geometria che le dimensioni della regione attiva e si produce la struttura di interconnessione finale. Il rendimento delle celle dipende della resistenza serie e della corrente di perdita, che devono essere minimizzate entrambe. Il processo costruttivo delle celle è concettualmente lo stesso, indipendentemente da quale delle tre categorie attualmente in produzione, ovvero celle al silicio, celle a CdTe, oppure celle di tipo con composto di rame, indio, gallio e selenio, chiamate anche celle CIGS.

Ad esempio, la sequenza di realizzazione di una cella CIGS (figura 1) inizia con la deposizione del contatto metallico 11, ad esempio uno strato di molibdeno di spessore di 1 micrometro, su un substrato 20, ad esempio una lastra di vetro; sullo strato di molibdeno vengono effettuate mediante laser linee di incisione, con una spaziatura variabile ad esempio tra 5 e 10 mm, e di larghezza variabile tra 0.05 e 0.1 mm, in dipendenza dal tipo di laser utilizzato. Tale processo, è indicato in letteratura come P1, e consente la definizione delle celle solari di un modulo. Sullo strato di molibdeno 11 viene depositato un materiale assorbitore della radiazione solare, ad esempio uno strato di CIGS 30 di spessore di 2 micrometri, sul quale viene effettuato un altro processo di incisione che deve essere terminato all'interfaccia tra lo strato CIGS ed il contatto metallico di molibdeno sottostante. Tale processo, che attualmente viene effettuato principalmente mediante incisione meccanica, è indicato in letteratura come P2 e realizza la separazione elettrica tra le varie celle del modulo. Dopo la deposizione sugli strati 11 e 30 di uno strato trasparente ed elettricamente conduttivo 40, ad esempio uno strato di ZnO/CdS di spessore complessivo di 1 micrometro, si ha un altro processo di incisione indicato in letteratura come P3. Tale processo consiste nella incisione, ad oggi

principalmente meccanica, degli strati di contatto elettrico superiore e dell'assorbitore della radiazione solare (CIGS) sino all'interfaccia con il contatto elettrico sottostante. Tale processo risulta nella interconnessione in serie delle celle per formare il modulo completo.

Il processo P1 non presenta criticità particolari mentre dalla qualità dei processi P2 e P3 dipendono le caratteristiche complessive della cella; infatti nell'ipotesi che lo strato di CIGS non sia completamente inciso sino al contatto inferiore, la resistenza serie della cella e la corrente di perdita aumentano e diminuisce l'efficienza complessiva della cella.

Nell'ipotesi di sovra incisione, cioè un'incisione tale da incidere o danneggiare anche lo strato metallico di contatto inferiore, le singole celle del modulo risulterebbero, nell'ipotesi peggiore, isolate elettricamente una rispetto all'altra e verrebbero scartate.

In caso di sotto incisione aumenterebbe la resistenza serie delle celle. Inoltre le zone del modulo comprese tra l'incisione P1 e la P3 risultano inutilizzabili (zone morte) con conseguente perdita di efficienza complessiva delle celle del modulo. Il processo laser permette un avvicinamento tra l'incisione P1 e la P3 superiore a quello realizzabile mediante il processo meccanico, data la ridotta larghezza delle linee di incisione prodotte dal laser.

La possibilità della sotto incisione e della sovra incisone non desiderate deriva dalla impossibilità attuale di individuare o sviluppare laser che possano incidere selettivamente gli strati desiderati, non intaccando gli strati sottostanti.

Inoltre, non sono note in letteratura tecniche di individuazione chimico/fisica del punto finale dei processi laser di incisione laser di film sottili in strutture multistrato di celle solari.

Un problema concettualmente analogo si pone nella fabbricazione dei circuiti integrati, dove materiali semiconduttori, dielettrici, metallici sono depositati su un substrato e conseguentemente rimossi a formare porte logiche, forature di contatto, piste di interconnessione etc. Vengono depositate delle maschere, ad esempio di materiale polimerizzabile fotosensibile, e le zone esposte delle strutture sottostanti sono rimosse per messo di gas alogeni come cloruri e bromuri, opportunamente energizzati. Il controllo di processo non può essere semplicemente effettuato sulla base di curve di calibrazione della velocità di attacco, dato che le condizioni di deposizione variano

durante l'operatività dei reattori stessi, che necessitano di essere periodicamente puliti e ricondizionati. Vengono quindi utilizzati metodi per individuare il punto finale di processo, tali da evitare sia il sottoattacco che sovrattacco, che renderebbero inutilizzabili le strutture realizzate.

Esempi di implementazione includono, ad esempio l'analisi del plasma risultante in reattori a radiofrequenza. Un plasma generato mediante eccitazione a radiofrequenza, che richiede complessi sistemi in alto vuoto, con limiti alla dimensione dei campioni processabili, e che non permette l'individuazione del punto finale di processo in base a variazioni nel drogaggio degli strati adiacenti. Tale limitazione deriva dalla insufficiente temperatura di plasma raggiunta in tali apparati e alla assenza di acquisizione sincrona della radiazione emessa dalle varie specie originariamente presenti nel campione e di riflesso presenti nel plasma. L'insufficienza nella temperatura di plasma risulta in bassa concentrazione delle specie eccitate neutre con conseguente bassa intensità di segnale. L'impossibilità di rilevazione sincrona risulta dalla elevata frequenza di eccitazione del plasma, nella regione della decina di MHz. In tali condizioni di eccitazione il plasma, che si diseccita in un intervallo temporale superiore alla decina di microsecondi, rimane costantemente eccitato ed i segnali risultanti sono affetti da un alto rumore di fondo con conseguente diminuzione dei limiti di rilevabilità del segnale.

In un'altra implementazione, descritta nei brevetti US Pat. No 3874797 e 3824017, si utilizza la tecnica ellissometrica in cui viene inviata sulla superficie sottoposta a rimozione una radiazione luminosa polarizzata. Viene di seguito analizzata la variazione di fase ed intensità della radiazione riflessa, in modo da determinare lo spessore residuo degli strati. Tuttavia, le misure ellissometriche risultano di difficile realizzazione sia per la contemporaneità richiesta nella determinazione di fase ed intensità che soprattutto per l'incertezza delle misure su campioni strutturati.

In vista dello stato della tecnica, scopo della presente invenzione è quello di fornire un apparato per l'individuazione del punto finale del processo di incisione laser su una cella solare multistrato che superi i suddetti inconvenienti.

In accordo alla presente invenzione, detto scopo viene raggiunto mediante un apparato per l'individuazione del punto finale di un processo di incisione laser su una cella solare multistrato comprendente una successione di strati sovrapposti l'uno all'altro, detto apparato comprendendo:

- mezzi per l'incisione di detta cella solare mediante almeno un fascio laser, detto fascio laser essendo atto a rimuovere una porzione di strati successivi della cella solare fino a raggiungere uno strato desiderato;
- mezzi atti a rilevare l'intensità della luce prodotta dal plasma generato durante l'incisione della cella solare a prefissate lunghezze d'onda,
- mezzi atti a monitorare l'intensità della luce rilevata relativa ai componenti chimici degli strati da rimuovere e dello strato desiderato, detti mezzi di monitoraggio essendo atti a monitorare quando l'intensità della luce rilevata relativa allo strato desiderato raggiunge il prefissato valore di intensità indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato,
- mezzi atti ad impostare i parametri di incisione del fascio laser in funzione del raggiungimento di detto prefissato valore di intensità indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato.

Le caratteristiche ed i vantaggi della presente invenzione risulteranno evidenti dalla seguente descrizione dettagliata di una sua forma di realizzazione pratica, illustrata a titolo di esempio non limitativo negli uniti disegni, nei quali:

la figura 1 mostra un modulo di celle solari di tipo CIGS sottoposto ai processi P1-P3;

la figura 2 mostra uno schema di un apparato per l'individuazione del punto finale di un processo di incisione laser su celle solari multistrato in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

la figura 3 mostra uno schema di un apparato per l'individuazione del punto finale in processi di incisione laser su celle solari multistrato in accordo ad una variante della forma di realizzazione della presente invenzione;

la figura 4 mostra un diagramma dello spettro del molibdeno in caso di sovraincisione del materiale CIGS in funzione della lunghezza d'onda;

la figura 5 mostra l'andamento del rapporto segnale/rumore riferito allo strato di molibdeno con diverse velocità di incisione laser;

la figura 6 mostra l'andamento dei segnali di rame, gallio e molibdeno in funzione degli impulsi laser inviati sulla cella solare.

Con riferimento alla figura 2 è mostrato un apparato per l'individuazione del punto finale di un processo di incisione laser su celle solari multistrato in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione. L'apparato opera su celle solari di piccole dimensioni, di circa 100 mm^2.

L'apparato comprende un generatore laser impulsato 1, ad esempio un laser Q-switch di tipo Nd:Yag pompato a diodi, emettente preferibilmente a 355 nm TEM00 con una potenza media preferibilmente maggiore di 2 Watt, uno scanner ottico 2 di tipo x-y preferibilmente di tipo galvo-meccanico con precisione di posizionamento migliore di 5 micron ed equipaggiato con una lente telecentrica con focale da 100 nm. Lo scanner ottico 2 è atto a dirigere il fascio laser 3 sulla superficie della cella solare 4, preferibilmente del tipo a film sottile e del tipo mostrata in figura 1, da incidere.

Il fascio laser 3 viene diretto sulla superficie della cella solare 4, in particolare su una regione periferica 5 della cella solare 4 per effettuare una calibrazione del fascio laser.

Il fascio laser 3 incidendo sulla superficie della cella solare 4 vaporizza il materiale di cui è fatta la cella solare; viene generato un plasma 10 comprendente i componenti o specie del materiale della cella solare 4. Ad esempio, se la cella solare 4 è del tipo come in figura 1, il plasma 10 generato dal fascio laser comprenderà rame, indio, gallio e selenio (elementi appartenenti allo strato CIGS 30) e, nel caso in cui il fascio laser abbia inciso fino allo strato di metallo, cioè lo strato molibdeno 11 che ricopre lo strato di vetro 20, il plasma 10 comprenderà anche molibdeno.

Una porzione della luce emessa dai componenti del plasma 10 viene raccolta da un dispositivo ottico 6 ed inviato mediante opportuni mezzi di trasmissione, ad esempio una fibra ottica, ad un analizzatore di spettro 7. Quest'ultimo comprende ad esempio uno spettrografo o un filtro di interferenza passa banda di lunghezza d'onda ed un rilevatore di luce; il filtro è disposto fra la fine dei mezzi di trasmissione ed il rilevatore di luce ed è atto a trasmettere solo una banda selezionata di lunghezze d'onda al rilevatore di luce. In tal modo l'intensità P della luce emessa ad una caratteristica lunghezza d'onda di un componente chimico o specie può essere rilevata e la sua concentrazione può essere monitorata. Il segnale di intensità P relativo all'elemento da monitorare è di alto valore ed ad esso viene sottratto il segnale di fondo o rumore di fondo R ottenendo il segnale pulito S. Tale segnale pulito S viene normalizzato rispetto

al rumore R, ottenendo il rapporto Segnale/Rumore S/R, preferibilmente maggiore o uguale a 2.

L'analizzatore di spettro 7 può funzionare in modo sincrono o asincrono nella rivelazione dei segnali di intensità di luce. Nel modo di funzionamento sincrono, con una rilevazione dei segnali risolti nel tempo con un ritardo variabile dell'ordine di 500 ns-10 microsecondi, detta anche modalità LIBS e descritta nel libro D. Cremers, L. Radziemski, "Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: Methods and Applications", John Wiley & Sons, New York 2006, si aumenta notevolmente la sensibilità del sistema di rilevazione dei segnali e di individuare i droganti, cioè elementi a bassa concentrazione dei droganti nel materiale. Questa metodologia permette di discriminare strati con eguale composizione ma differente concentrazione delle impurezze droganti, sino ad un livello di concentrazione delle parti per milione (ppm). Il metodo asincrono si impiega quando si devono monitorare incisioni su strati chimicamente significativamente diversi.

L'analizzatore di spettro 7 preferibilmente comprende uno spettrometro, ad esempio uno spettrometro a CCD con intervallo di analisi da 200 nm a 1100 nm e risoluzione di 1 nm utilizzabile in modalità LIBS con ritardi impostabili da 0 a 10 microsecondi rispetto all'impulso laser. Lo spettrometro visualizza lo spettro del segnale P del componente da misurare con il rumore di fondo ed il rumore di fondo R come ad esempio in figura 4 dove è mostrato lo spettro del molibdeno in caso di sovraincisione in funzione della lunghezza d'onda λ. Tale segnale è rilevabile non appena il fascio laser incidente sulla cella inizia a rimuovere lo strato di molibdeno 11 della cella solare di figura 1, fornendo così l'informazione che il processo è fuori controllo e che l'incisone è troppo profonda. Per avere il segnale pulito S del molibdeno è necessario sottrarre ai picchi del segnale P del molibdeno il rumore di fondo R; si ottiene poi il rapporto segnale/rumore S/R. Lo spettrometro visualizza anche lo spettro dei segnali relativi agli altri componenti della cella solare 4 che sono stati vaporizzati e fanno parte del plasma 10. Può anche essere visualizzato l'andamento dei segnali relativi alla concentrazione degli strati di rame N1, gallio N3 e molibdeno N2 in funzione del numero di impulsi laser inviati sulla cella solare 4.

In alternativa l'analizzatore di spettro 7 comprende una serie di fotodiodi provvisti di un filtro passa banda centrato sull'elemento da rilevare. La radiazione luminosa

proveniente dal dispositivo ottico 6 viene suddivisa in due parti; una parte viene inviata ad un primo fotodiodo dotato di un filtro passa banda centrato sull'elemento da rilevare e l'altra parte inviata su un secondo fotodiodo provvisto di un filtro passa banda posizionato in una regione spettrale adiacente a quella dell'emissione dell'elemento da rilevare che porta solo rumore di fondo. Al segnale P=S+R rilevato dal primo fotodiodo viene sottratto il segnale R rilevato dal secondo fotodiodo per ottenere il segnale pulito S ed il rapporto segnale/rumore S/R. Preferibilmente un'unità di controllo dell'incisione e della retroazione laser 8 provvede alla sottrazione del rumore R dal segnale P ed alla generazione del rapporto S/R.

I segnali relativi agli elementi da rilevare vengono rilevati in continua o risolti nel tempo con un ritardo variabile fra 500 nanosecondi a 1 microsecondo.

L'unità di controllo 8 consente la visualizzazione del raggiungimento del valore del rapporto segnale/rumore Sint, cioè il valore indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato; nel caso di celle solari di tipo CIGS con molibdeno, se il molibdeno è lo strato desiderato il valore del rapporto segnale/rumore Sint indica l'interfaccia fra lo strato CIGS e lo strato di molibdeno 11.

Dal raggiungimento della soglia del rapporto segnale/rumore Sint si determinano i parametri di incisione del fascio laser 3, cioè la frequenza, la potenza media e la velocità di scansione del fascio laser 3 sulla cella 4.

L'unità di controllo 8 imposta detti parametri sul generatore laser 1 e sullo scanner ottico 2 per eseguire l'incisione e dopo detta fase di calibrazione si può effettuare l'incisione della cella solare con i parametri del fascio laser 3 determinati nella fase di calibrazione precedente. Durante la fase di incisione delle cella solare 4 il dispositivo 7 non è più attivo.

Il prefissato valore Sint si determina dopo un processo preliminare effettuato su celle solari campione. Ad esempio, in detto processo preliminare si possono impostare inizialmente i seguenti parametri di incisione del fascio laser 3: potenza media laser di 1 Watt, frequenza di ripetizione di 40 Khz, velocità dello scanner ottico di 425 mm/s. Si provvede ad effettuare l'incisione completa della cella solare 4 e contemporaneamente una porzione della luce emessa dai componenti del plasma 10 viene raccolta dal dispositivo 6 ed inviata all'analizzatore di spettro 7. Alla fine del processo si misura l'efficienza della cella solare così realizzata. Si ripete il suddetto processo per diverse

velocità di incisione 400 mm/s, 350 mm/s, 300 mm/s lasciando inalterati gli altri parametri di incisione del fascio laser 3. Nella figura 5 viene mostrato l'andamento del rapporto segnale/rumore S/R dello strato di molibdeno 11 riferito alle diverse velocità di incisione laser. Il decremento del rapporto segnale/rumore S/R all'aumentare della velocità di incisione laser indica la diminuzione sino alla scomparsa del danneggiamento del contatto metallico di molibdeno.

Sperimentalmente si ottiene che la miglior efficienza delle cella solare 4 si ha con valori di potenza media laser di 1 Watt, frequenza di ripetizione di 40 Khz, velocità dello scanner ottico di 400 mm/s. A questi valori corrisponde un valore Sint del rapporto segnale/rumore dello strato di molibdeno pari a 2. Detto valore Sint sarà utilizzato nella fase di calibrazione della cella solare 4.

Con riferimento alla figura 3 è mostrato un apparato per l'individuazione del punto finale in processi di incisione laser su celle solari multistrato in accordo ad una variante della forma di realizzazione della presente invenzione. In accordo a detta variante l'apparato di figura 2 viene applicato ad una cella solare 40 di grande dimensione, di circa 2200*2600 mm^2. Detto apparato comprende un generatore laser impulsato 1, ad esempio un laser Q-switch di tipo Nd:Yag pompato a diodi, emettente preferibilmente a 355 nm TEM00 con una potenza media preferibilmente maggiore di 10 Watt, una pluralità di teste di focalizzazione 21 atte a dirigere il fascio laser 3 sulla superficie della cella solare 4, preferibilmente del tipo a film sottile, da incidere mediante la deflessione parziale del fascio dovuta alla pluralità di specchi di riflessione parziale e di parziale trasmissione. La cella solare 40 viene spostata lungo gli assi X e Y mediante mezzi di movimentazione 90.

Il fascio laser 3 viene diretto sulla superficie della cella solare 40 mediante le teste di fiscalizzazione 21 con una pluralità di fasci laser focalizzati che, incidendo sulla superficie della cella solare 40, generano una pluralità di plasma 10 che viene raccolto da una pluralità di dispositivi ottici 60 ed inviato mediante opportuni mezzi di trasmissione, ad esempio fibre ottiche, all'analizzatore di spettro 7. In quest'ultimo al segnale P relativo all'elemento da monitorare di ogni plasma 10 viene sottratto il segnale di fondo o rumore di fondo R per ogni dispositivo ottico della pluralità di dispositivi ottici 60 e viene generato il rapporto segnale/rumore S/R.

Come già precedentemente detto l'analizzatore di spettro 7 preferibilmente

comprende uno spettrometro, ad esempio uno spettrometro a CCD con intervallo di analisi da 200 nm a 1100 nm e risoluzione di 1 nm utilizzabile in modalità LIBS con ritardi impostabili da 0 a 10 microsecondi rispetto all'impulso laser. Lo spettrometro visualizza lo spettro del segnale P del componente da misurare con il rumore di fondo ed il rumore di fondo R come ad esempio in figura 4 dove è mostrato lo spettro del molibdeno in caso di sovraincisione. Per avere il segnale S del molibdeno è necessario sottrarre ai picchi del molibdeno il rumore di fondo R ed ottenere il rapporto segnale/rumore S/R.

In alternativa l'analizzatore di spettro 7 comprende una serie di fotodiodi provvisti di un filtro passa banda centrato sull'elemento da rilevare. Ogni radiazione luminosa proveniente dai dispositivi ottici 60 viene suddivisa in due parti; una parte viene inviata ad un primo fotodiodo dotato di un filtro passa banda centrato sull'elemento da rilevare e l'altra parte inviata su un secondo fotodiodo provvisto di un filtro passa banda posizionato in una regione spettrale adiacente a quella dell'emissione dell'elemento da rilevare che porta solo rumore di fondo. Al segnale P rilevato dal primo fotodiodo viene sottratto il segnale R rilevato dal secondo fotodiodo per ottenere il segnale pulito S ed il rapporto segnale/rumore S/R. Preferibilmente un'unità di controllo dell'incisione e della retroazione laser 8 provvede alla sottrazione del segnale R dal segnale P per ottenere il segnale S.

I segnali relativi agli elementi da rilevare vengono rilevati in continua o risolti nel tempo con un ritardo variabile fra 500 nanosecondi a 1 microsecondo. Viene determinato in continuo il raggiungimento della soglia del rapporto segnale/rumore Sint oltre la quale si assume che l'incisione abbia raggiunto l'interfaccia fra gli strati componenti la cella solare. Dalla soglia del rapporto segnale/rumore Sint si determinano i parametri di incisione del fascio laser 3, cioè la frequenza, la potenza media e la velocità di scansione del fascio laser 3 sulla cella 40. L'unità di controllo 8 imposta detti parametri sul generatore laser 1 e su ciascuna testa di focalizzazione 21 per eseguire l'incisione; le teste di focalizzazione 21 possono essere controllate in modo diverso l'una dall'altra in funzione del rispettivo segnale P rilevato sulla porzione di cella solare che il rispettivo fascio laser focalizzato deve incidere. L'unità di controllo 8 durante l'incisione dei fasci laser focalizzati sulla cella solare 40 deve mantenere costante la soglia del rapporto segnale/rumore Sint variando opportunamente i parametri di ogni

fascio laser focalizzato incidente agendo sulla pluralità di teste di focalizzazione 21 e sul generatore laser 1.

L'unità di controllo 8 dell'incisione e della retroazione laser modifica pertanto uno o più parametri laser (velocità di scansione del fascio laser – frequenza del fascio laser – potenza media del fascio laser), in base ai quali si determina un aumento od una diminuzione della profondità di incisione laser della cella solare, in dipendenza dall'azione richiesta.

RIVENDICAZIONI

1. Apparato per l'individuazione del punto finale di un processo di incisione laser su una cella solare multistrato (4) comprendente una successione di strati sovrapposti l'uno all'altro, detto apparato comprendendo:
   - mezzi (1, 2) per l'incisione di detta cella solare mediante almeno un fascio laser (3), detto fascio laser essendo atto a rimuovere una porzione di strati successivi della cella solare fino a raggiungere uno strato desiderato (11);
   - mezzi (6) atti a rilevare l'intensità della luce prodotta dal plasma (10) generato durante l'incisione della cella solare a prefissate lunghezze d'onda,
   - mezzi (7, 8) atti a monitorare l'intensità della luce rilevata relativa ai componenti chimici degli strati da rimuovere e dello strato desiderato, detti mezzi di monitoraggio essendo atti a monitorare quando l'intensità della luce (S) rilevata relativa allo strato desiderato raggiunge il prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato (11),
   - mezzi (8) atti ad impostare i parametri di incisione del fascio laser in funzione del raggiungimento di detto prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato (11).
2. Apparato secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto detti mezzi di monitoraggio (7, 8) dell'intensità della luce rilevata sono atti a sottrarre al segnale (P) generato dell'intensità della luce rilevata relativa a ciascun componente chimico di ciascuno degli strati da rimuovere e dello strato desiderato il proprio rumore di fondo (R) generando un segnale pulito (S) ed il rapporto fra detto segnale pulito (S) ed il proprio rumore di fondo (R), detto prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato (11) essendo un valore dato dal rapporto di detto segnale pulito (S) sul proprio rumore di fondo (R).
3. Apparato secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto detti mezzi di monitoraggio (7, 8) dell'intensità della luce rilevata comprendono uno

spettrometro.

4. Apparato secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto detti mezzi di monitoraggio (7, 8) dell'intensità della luce rilevata comprendono una serie di fotodiodi provvisti di un filtro passa banda centrato sulla frequenza del segnale di intensità della luce rilevata relativo ad un componente chimico di uno fra gli strati da rimuovere e lo strato desiderato (11).

5. Apparato secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di rilevazione effettuano un rilevazione in accordo ad un modo di funzionamento asincrono.

6. Apparato secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di rilevazione effettuano un rilevazione in accordo ad un modo di funzionamento sincrono (LIBS).

7. Apparato secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto strato desiderato (11) è uno strato di metallo.

8. Apparato secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere una pluralità di incisioni laser in contemporanea mediante una pluralità di teste di focalizzazione (21) del fascio laser (3), detti mezzi di rilevazione essendo atti a rilevare l'intensità della luce prodotta dalla pluralità di plasma (10) generati durante l'incisione della cella solare dalla pluralità di fasci laser focalizzati a prefissate lunghezze d'onda, detti mezzi di monitoraggio (7, 8) essendo atti a monitorare l'intensità della luce rilevata relativa ai componenti chimici degli strati da rimuovere e dello strato desiderato di ogni plasma della pluralità di plasma, detti mezzi di monitoraggio essendo atti a monitorare quando l'intensità della luce (S) rilevata relativa allo strato desiderato raggiunge il prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato (11) e detti mezzi (8) di impostazione dei parametri del fascio laser sono atti a controllare dette teste di focalizzazione (21) variando i parametri dei rispettivi fasci laser incidenti mantenendo costante detto prefissato valore di intensità (Sint).

9. Metodo per l'individuazione del punto finale di un processo di incisione laser su almeno una cella solare multistrato comprendente una successione di strati sovrapposti l'uno all'altro, detto metodo comprendendo:

- l'incisione di detta almeno una cella solare mediante almeno un fascio

laser (3), detto fascio laser essendo atto a rimuovere una porzione di strati successivi della cella solare fino a raggiungere uno strato desiderato;

- la generazione di un plasma (10) durante l'incisione della cella solare;
- la rilevazione dell'intensità della luce (S) prodotta dal plasma a prefissate lunghezze d'onda,
- il monitoraggio dell'intensità della luce (S) rilevata relativa ai componenti chimici degli strati da rimuovere e dello strato desiderato per monitorare quando l'intensità della luce (S) rilevata relativa allo strato desiderato raggiunge il prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato,
- l'impostazione dei parametri di incisione del fascio laser (3) in funzione del raggiungimento di detto prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato.

10. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detto monitoraggio comprende la sottrazione del segnale dell'intensità (P) della luce relativa ad ogni componente chimico degli strati da rimuovere e dello strato desiderato del rumore di fondo (R) generando un segnale pulito (S) e la generazione del rapporto fra detto segnale pulito (S) ed il proprio rumore di fondo (R), detto prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato (11) essendo un valore dato dal rapporto di detto segnale pulito (S) sul proprio rumore di fondo (R).

11. Metodo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detto metodo avviene durante una calibrazione attuata su una parte periferica della cella solare.

12. Metodo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto di comprendere una pluralità di incisioni laser in contemporanea mediante una pluralità di teste di focalizzazione (21) del fascio laser (3) e che in detta fase di impostazione dei parametri di incisione del fascio laser (3) in funzione del raggiungimento di detto prefissato valore di intensità (Sint) indicativo dell'interfaccia fra l'ultimo degli strati della successione di strati e lo strato desiderato vengono variati continuamente detti parametri di incisione

del fascio laser (3) mantenendo costante detto prefissato valore di intensità (Sint).

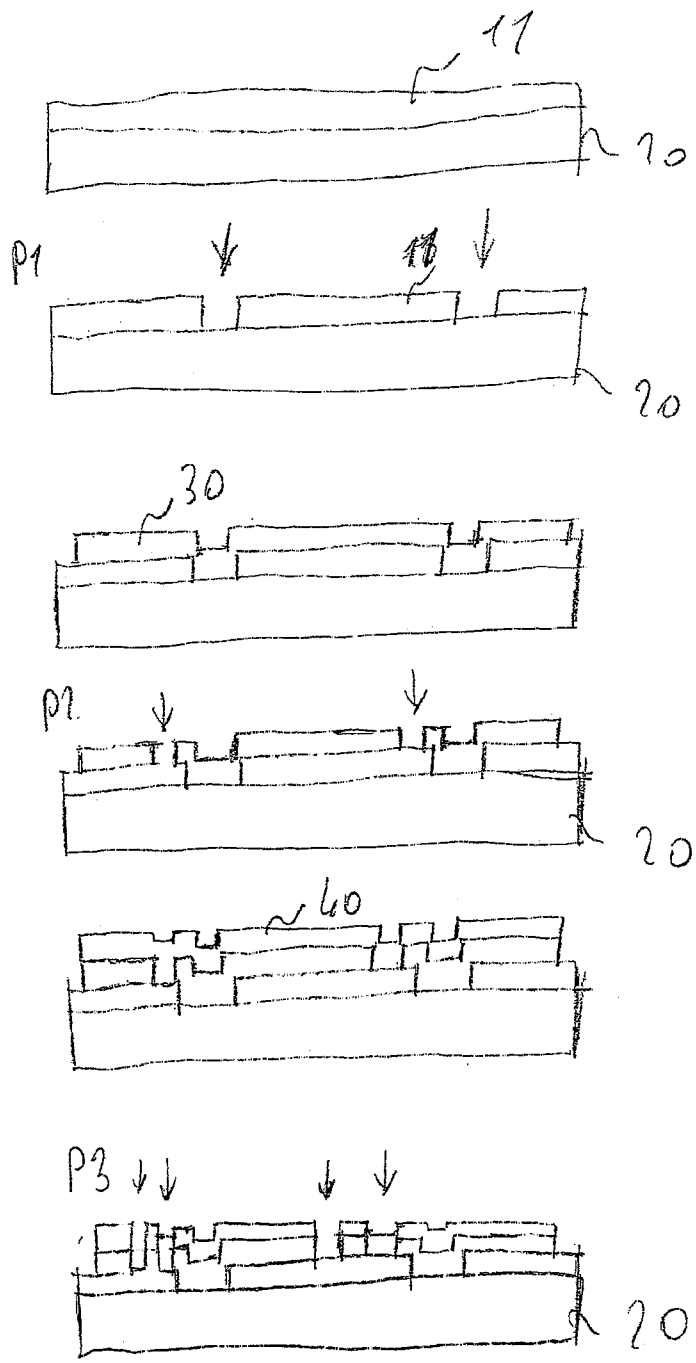


Fig 1

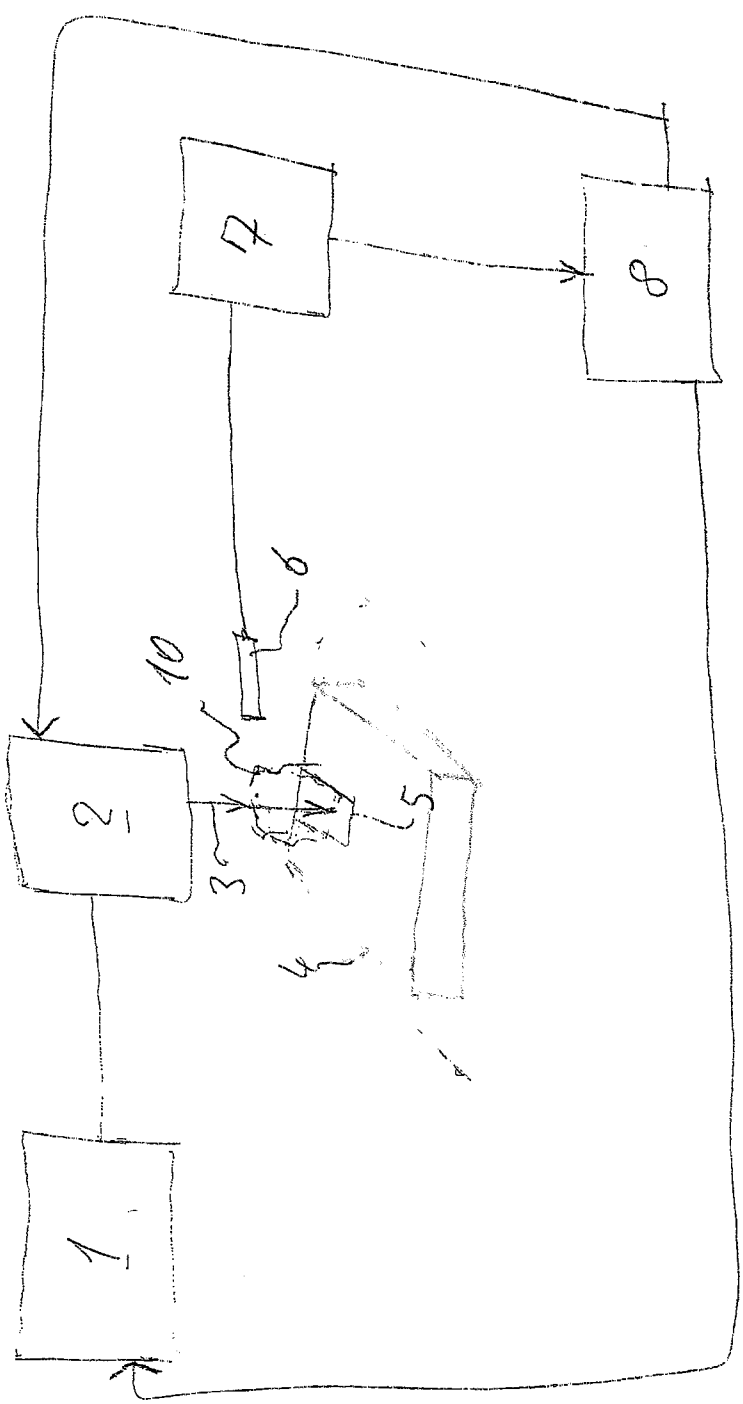


Fig 2

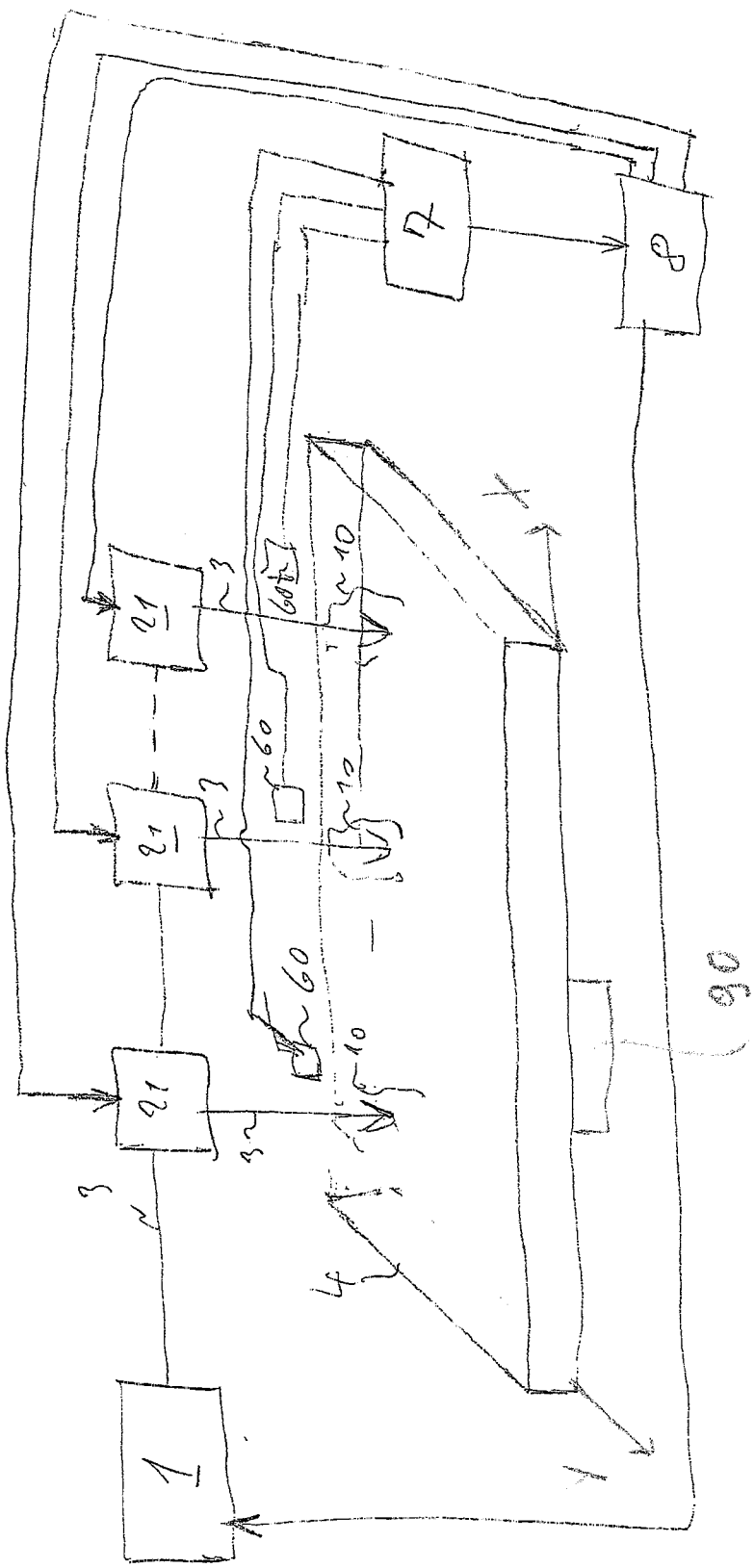


Fig 3

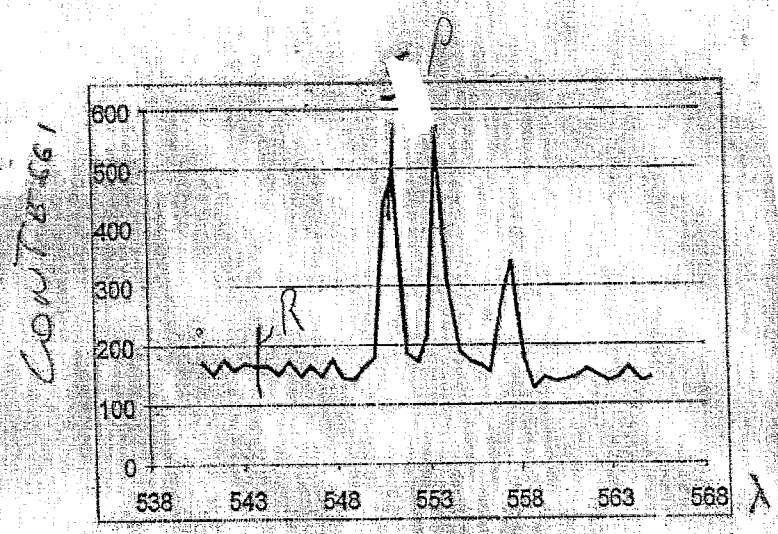

P
R
600
500
400
300
200
100
0
538
543
548
553
558
563
568
λ

Fig 4

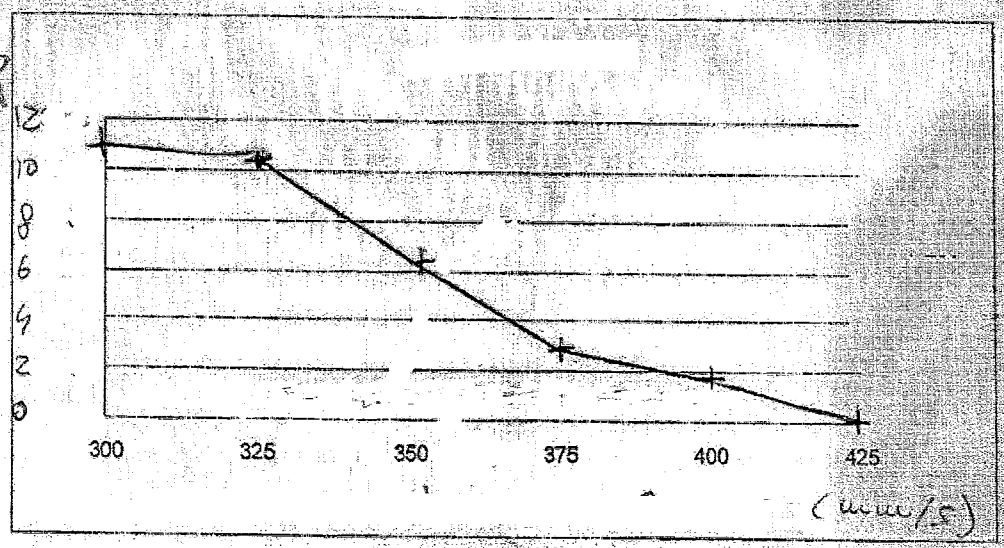

S/R
12
10
8
6
4
2
0
300
325
350
375
400
425

Fig 5

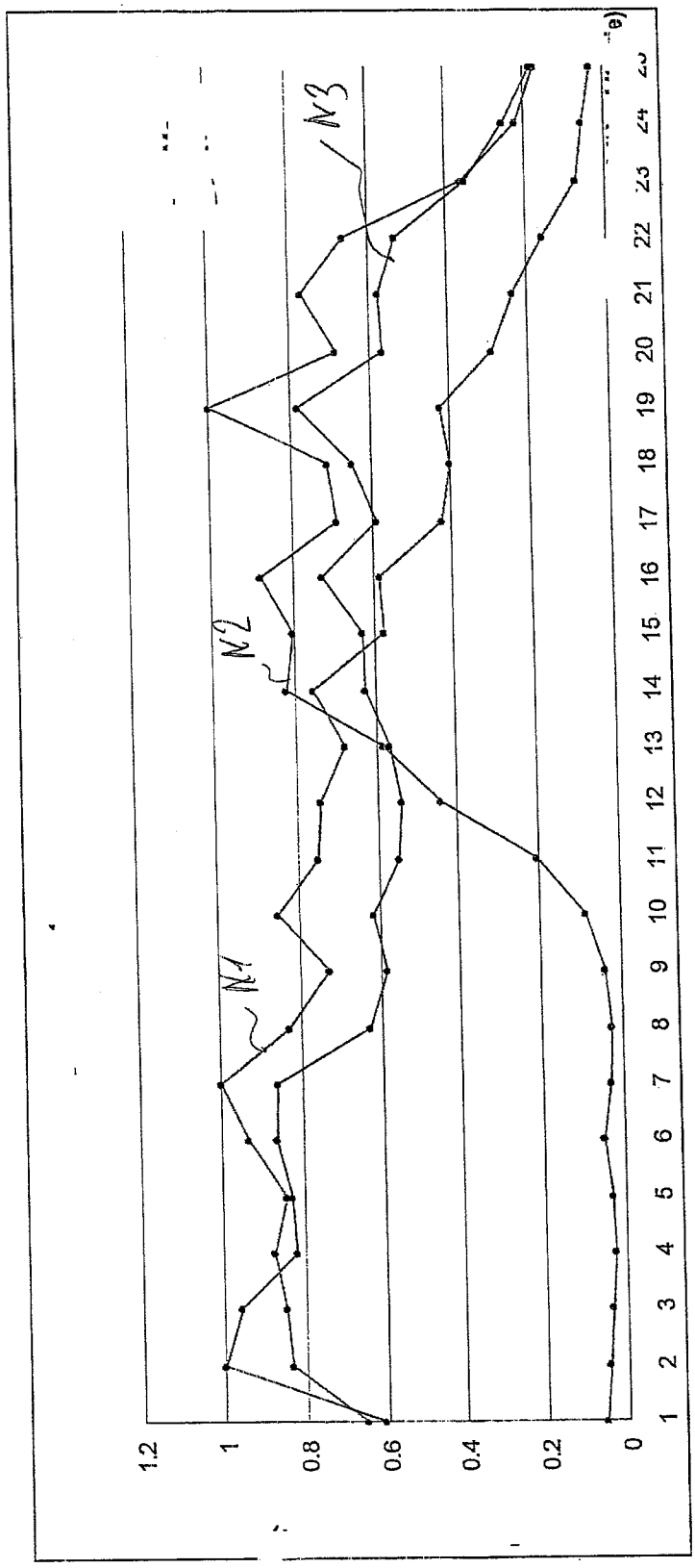

N1
N2
N3
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

Fig 6