



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102011901988369
Data Deposito	18/10/2011
Data Pubblicazione	18/04/2013

Classifiche IPC

Titolo

DISPOSITIVO DI TEST PER COLLAUDARE PIASTRE PER CIRCUITI ELETTRONICI E RELATIVO PROCEDIMENTO

Classe Internazionale: H01L 021/0000

Descrizione del trovato avente per titolo:

"DISPOSITIVO DI TEST PER COLLAUDARE PIASTRE PER CIRCUITI ELETTRONICI E RELATIVO PROCEDIMENTO"

5 a nome APPLIED MATERIALS ITALIA S.R.L. di nazionalità italiana con sede legale in Via Postumia Ovest, 244 - 31048 SAN BIAGIO DI CALLALTA (TREVISO)

dep. il al n.

10

* * * * *

CAMPO DI APPLICAZIONE

Il presente trovato si riferisce ad un dispositivo e ad un procedimento di test per collaudare piastre per circuiti elettronici, in particolare celle da utilizzare in impianti solari o fotovoltaici.

15 Più precisamente, il trovato si riferisce ad un procedimento, ed al dispositivo che lo implementa, per la mappatura della resistività di contatto e di linea di linee metallizzate (ad esempio "fingers" o "bus bars") in celle solari e fotovoltaiche, eseguita direttamente nella fase di produzione delle celle stesse.

25 Il trovato è impiegabile in un impianto per la produzione di piastre per circuiti elettronici,

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
~~STUDIO GLP S.r.l.~~
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

quali, preferibilmente, ma non esclusivamente, wafer, ad esempio a base di silicio o a base di allumina, in particolare per celle fotovoltaiche o per circuiti tipo green-tape, per effettuare una serie di test qualitativi di tipo resistivo sulle
5 suddette piastre.

STATO DELLA TECNICA

E' noto che i contatti resistivi rivestono una altissima importanza per la qualità e l'efficienza dei circuiti elettronici, per cui si rende
10 necessaria una loro accurata ed approfondita verifica, tanto più importante al crescere della densità dei componenti presenti nelle piastre utilizzate per la realizzazione del circuiti.

15 Sono note svariate tecniche utilizzate nelle procedure di test elettrici per piastre di questo tipo, le quali generalmente effettuano i test su piastre campione in una procedura separata rispetto alla normale produzione delle piastre stesse.

20 Una di queste tecniche, ampiamente utilizzata, è quella denominata TLM (Transmission Line Model), in cui i parametri di interesse relativamente alla resistenza di contatto vengono ricavati da una regressione numerica di una curva che si ottiene
25 mediante interpolazione di n valori ottenuti

effettuando una pluralità di misure di resistenza tra coppie adiacenti o distanti fra loro di linee di metallizzazione, ad esempio fingers o bus bars.

Tale tecnica soffre di alcuni inconvenienti, in particolare a causa delle limitazioni delle attrezzature di misura utilizzate, di errori nella misurazione della linea di metallizzazione, e di errori che derivano dalla non corretta preparazione delle strisce sottoposte alla prova.

Vi possono essere anche errori dovuti alla non correttezza di alcune ipotesi assunte nell'esecuzione del calcolo.

Per una trattazione più esaustiva delle problematiche connesse all'utilizzo di tale tecnica di misurazione si faccia riferimento all'articolo *"Development of the transmission line method for measuring contact to high sheet resistance emitters with improved accuracy"*, di Kirk et al., 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition/5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10 September 2010. Valencia, Spain.

Altre tecniche utilizzate per l'esecuzione di tali misure di resistività di contatto sono quelle denominate "Squares Pattern" (Schema a quadrati) e

"Dotted Pattern" (Schema a punti), eseguite
generando schemi pre-definiti di metallizzazione su
piastre campione e poi generando flussi di corrente
attraverso tali aree metallizzate per ricavare le
5 curve di resistenza rapportate all'area di
contatto.

L'articolo "*Contact Resistance Measurement
Techniques for Ag Thick-Film Screen-Printed
Contacts to Solar Cells*" di M. Melczarsky et al.,
10 IEEE Transactions 2009, mette a confronto queste
due tecniche con la TLM, concludendo che
quest'ultima non è la più idonea per la misurazione
di contatti serigrafati a causa della sensibilità
alla pendenza di questo metodo ed alla separazione
15 dei piedini di contatto che caratterizza questo
tipo di tecnica di metallizzazione.

Anche le altre due tecniche sopra indicate, pur
migliorative, lamentano alcuni inconvenienti ed in
particolare il problema di ricavare i dati delle
20 misure per interpolazione di una serie di misure
distinte, soffrendo pertanto degli inconvenienti
relativi alle tecniche di interpolazione ed alla
influenza che la pendenza della curva di
interpolazione ottenuta può avere.

25 Nella misura della resistività di contatto,

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavendish, 6/2 - 33100 UDINE

mediante tecnica TLM, si ipotizza che il substrato su cui sono depositati i contatti sia uniformemente drogato, ma nel caso della tecnologia cosiddetta "selective emitter" il substrato presenta una forte
5 variazione di concentrazione proprio al di sotto dei contatti, ciò influenzando negativamente il risultato della misura.

Il presente trovato si propone pertanto lo scopo di sviluppare una tecnica, ed una relativa
10 attrezzatura, per eseguire test su piastre per circuiti elettronici da utilizzare come celle solari/fotovoltaiche in cui gli inconvenienti della tecnica nota possano essere superati o quanto meno fortemente limitati.

15 In particolare, il presente trovato si pone lo scopo di eseguire misure di valori di resistività di linea e di contatto in modo diretto, e non mediante interpolazione, ottenendo nel contempo i seguenti vantaggi:

20 - evitare problematiche connesse a fattori matematici di formazione della curva di interpolazione;

- poter eseguire tali misurazioni anche nella linea stessa di produzione, senza quindi richiedere
25 procedure di test separate ed avulse dalla

produzione;

- poter effettuare, in linea, correzioni di lavorazione nel caso in cui i controlli riscontrino difetti od imprecisioni di esecuzione;

5 - poter mappare la resistività di contatto sulla porzione di cella sottoposta al test, al contrario della tecnica TLM che, generalmente, fornisce un unico valore medio di resistività misurato sulla struttura di test;

10 - permettere di misurare la resistività di contatto anche sulle celle solari con tecnologia "selective emitter", in cui l'emitter presenta una variazione del drogaggio al di sotto del contatto.

Altro scopo conseguente è quello di non
15 richiedere strutture di test specifiche ed ausiliarie.

Ulteriore scopo è quello di essere facilmente adattabile ad una qualsiasi struttura di griglia utilizzabile.

20 Per ovviare agli inconvenienti sopra individuati ed ottenere altri ed ulteriori vantaggi che diverranno chiari dalla seguente descrizione dettagliata, la Proponente ha ideato, sperimentato e realizzato il presente trovato.

25

ESPOSIZIONE DEL TROVATO

Il mandatario
STEPANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

Il presente trovato è espresso e caratterizzato nelle rivendicazioni indipendenti.

Le rivendicazioni dipendenti espongono altre caratteristiche del presente trovato, o varianti
5 dell'idea di soluzione principale.

In accordo con il suddetto scopo, un dispositivo di test, per collaudare una piastra per circuiti elettronici come precedentemente esemplificata, comprende una testa di misura strutturata in tre
10 distinti blocchi funzionali, ciascuno atto a muoversi indipendentemente dagli altri per effettuare misure resistive distinte su una cella o piastra (wafer) per circuiti elettronici come uscente da una linea di produzione.

15 Ciascun blocco funzionale supporta rispettive sonde di misura, predisposte per essere portate a contatto con le linee di metallizzazione realizzate sulle piastre in modo da eseguire le relative misure.

20 In una forma realizzativa, ciascuna di dette sonde è costituita da fili conduttori, realizzati ad esempio in tungsteno od altro materiale metallico idoneo. Altri tipi di sonde possono ugualmente essere utilizzati, tutti rientranti
25 nell'ambito di protezione del presente trovato.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavallotti, 6/2 - 33100 UDINE

In una forma realizzativa, i fili conduttori per ciascuna di dette sonde sono vantaggiosamente in numero di almeno quattro, sono disposti paralleli fra loro, e vengono portati a contatto con le linee di metallizzazione presenti sulle piastre uscenti dalla linea di produzione, per eseguire la misura.

In particolare, due di detti fili conduttori sono predisposti per iniettare corrente, altri due per eseguire misure di tensione.

In alcune forme di realizzazione, i fili conduttori di almeno una di dette sonde possono essere condivisi con i fili conduttori di un'altra di dette sonde, sì che il numero totale di fili conduttori presenti nel dispositivo può essere inferiore a 12.

La misura viene eseguita sequenzialmente, su una piastra campione prelevata dalla linea di produzione, e prevede una prima fase di isolamento delle linee di metallizzazione (finger), mediante taglio laser o meccanico.

Tale operazione di isolamento ha la funzione di creare specifiche celle di misura e di raccogliere dalle celle così create l'informazione di corrente senza che si abbiano dispersioni della stessa.

In particolare, poiché i finger di una cella

solare sono generalmente collegati fra loro, e creano dei percorsi a bassa resistenza attraverso cui la corrente tende a fluire, l'isolamento si rende necessario per contringere il flusso di
5 corrente ad attraversare il substrato, almeno durante le misurazione della resistenza totale ("Total Resistance") e della resistenza dei contatti di estremità ("End Contact Resistance").

La seconda fase della misura prevede la
10 definizione o mappatura di una griglia per la costruzione delle celle elementari su cui effettuare la misura.

Per ciascuna di dette celle elementari vengono fatti agire in sequenza i tre blocchi funzionali
15 che costituiscono la testa di misura, rispettivamente un primo blocco funzionale per la misura della "sheet resistance" o resistenza superficiale, un secondo blocco funzionale per la misura della "total resistance", o resistenza
20 totale, ed un terzo blocco funzionale per la misura della "contact end resistance", o resistenza dei contatti di estremità.

Poiché i tre blocchi funzionali presentano rispettive ed autonome sonde di misura, e possono
25 essere spostati indipendentemente l'uno dall'altro

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

almeno nella direzione verticale di avvicinamento/allontanamento dalla piastra per circuiti elettronici, la sequenza di misura può essere anche modificata, in base alle esigenze ed
5 alle applicazioni specifiche.

Dalle misure ottenute complessivamente dai tre blocchi funzionali è così possibile eseguire il calcolo, per via analitica, della resistività di contatto della cella elementare selezionata,
10 ottenendo quindi il risultato ricercato.

Il procedimento di misura può poi essere ripetuto per tutte le celle elementari in cui la piastra/wafer è stata suddivisa, per ottenere il valore complessivo della resistività di contatto
15 della piastra su cui si effettua il test.

Il vantaggio del presente trovato è quindi quello di permettere di eseguire la misura della resistività di contatto di piastre per circuiti elettronici direttamente in fase di produzione,
20 senza vincoli legati a dimensioni pre-fissate della griglia e delle celle elementari, che possono essere impostati ed adattati di volta in volta alle esigenze ed applicazioni specifiche.

Un ulteriore vantaggio deriva dal fatto che il
25 trovato, nell'eseguire la mappatura della

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavallotti, 6/2 - 33100 UDINE

resistività di contatto, per ogni cella elementare
effettua anche la misura della "sheet resistance";
in questo modo, al termine della misura, si ottiene
anche la mappatura della "sheet resistance".

5 Un altro vantaggio ancora deriva dal fatto che il
blocco di misura della resistenza totale presenta
due coppie di sonde che possono essere sfruttate
per effettuare misure a quattro punte su qualsiasi
conduttore. Ad esempio, è possibile porre tale
10 blocco lungo un finger per estrarre il relativo
valore della resistenza di linea, cioè la
resistenza per unità di lunghezza del finger
sottoposto a misura.

ILLUSTRAZIONE DEI DISEGNI

15 Queste ed altre caratteristiche del presente
trovato appariranno chiare dalla seguente
descrizione di una forma preferenziale di
realizzazione, fornita a titolo esemplificativo,
non limitativo, con riferimento agli annessi
20 disegni in cui:

- la fig. 1 illustra uno schema a blocchi che
rappresenta nel suo complesso il dispositivo di
test secondo il presente trovato;
- la fig. 2 illustra la struttura base di una
25 testa di misura utilizzata nel dispositivo

secondo il presente trovato;

- la fig. 3 illustra la struttura base di fig. 1 con indicati parametri dimensionali di configurazione;
- 5 - la fig. 4 illustra una applicazione per misure di "sheet resistance";
- la fig. 5 illustra uno schema di funzionamento del blocco funzionale del dispositivo di fig. 1 per la misura della "sheet resistance";
- 10 - la fig. 6 illustra uno schema di funzionamento del blocco funzionale del dispositivo di fig. 1 per la misura della "total resistance" o resistenza totale;
- la fig. 7 illustra il blocco funzionale del
15 dispositivo di fig. 1 per la misura della "contact end resistance", o resistenza dei contatti di estremità;
- le figg. 8a-8d illustrano la sequenza di formazione della griglia che precede
20 l'esecuzione delle misure secondo il presente trovato;
- le figg. 9a-9d illustrano la sequenza del procedimento di misura secondo il presente trovato.

25 DESCRIZIONE DI UNA FORMA PREFERENZIALE DI

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavallotti, 6/2 - 33100 UDINE

REALIZZAZIONE

Con riferimento alla fig. 1, un dispositivo di test, secondo il presente trovato, per collaudare una piastra per circuiti elettronici, nel caso
5 esemplificativo un wafer 11 (figg. 8b e 8c), è indicato nel suo complesso ed in generale con il numero di riferimento 100. Esso è costituito da tre gruppi funzionali, rispettivamente un gruppo di controllo indicato con "a", comprendente almeno un
10 PC 101, un gruppo di rilevazione elettrica, indicato con "b", ed un gruppo di movimentazione sia della testa di misura 10 che del wafer 11, indicato con "c".

Il gruppo di controllo "a" ha la funzione di
15 gestire il movimento della testa di misura 10 e controllare ed asservire i dispositivi elettronici utilizzando un software specificatamente dedicato per l'applicazione.

Il gruppo di rilevazione elettrica "b" comprende
20 almeno un voltmetro 41 ed una sorgente di corrente 42, aventi le ovvie e normali funzioni di misurare tensioni ed alimentare correnti, rispettivamente, ed un interruttore 43 mediante il quale può essere di volta in volta selezionato il gruppo di misura
25 da selezionare per ciascuna misura.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

Il gruppo di movimentazione "c" comprende una serie di attuatori e motori lineari (non illustrati) per muovere il wafer 11 sul suo piano xy di giacitura in base alla mappatura della griglia, come si vedrà nel seguito, e per muovere la testa di misura 10 sul piano z (ortogonale al piano di giacitura del wafer 11) per avvicinarsi/allontanarsi dal wafer 11 in base alla sequenza di misure da effettuare.

La testa di misura 10, come si vede nelle figg. 2 e 3, comprende tre blocchi funzionali, rispettivamente 12, 13 e 14, mobili indipendentemente l'uno dall'altro sul piano z, lungo rispettive direzioni z_1 , z_2 e z_3 (fig. 1) per avvicinarsi/allontanarsi dal wafer 11 in esame in base alla sequenza di misure da effettuare.

Nella soluzione illustrata, ciascun blocco funzionale 12, 13 e 14 comprende quattro rispettive sonde di misura 15, costituite ad esempio da fili conduttori al tungsteno od altro materiale idoneo allo scopo.

Le sonde di misura 15 sono di tipo di per sé noto e la loro struttura e configurazione non è limitativa nell'ambito del presente trovato.

Con riferimento alla fig. 3, le distanze in

orizzontale λ e Ω , cioè gli interassi tra le
singole sonde 15 nei blocchi funzionali 13 e 14,
possono essere variate a piacere per adattarsi alle
dimensioni ed alla tipologia dello specifico wafer
5 11 da testare, mentre le rispettive distanze in
verticale α e β tra i blocchi funzionali 12, 13 e
14 sono fisse.

Quando deve essere effettuata la misura, una
prima fase (figg. 8a e 8b) prevede la mappatura di
10 una griglia di una piastra campione 11 da
sottoporre a test. Per costruire la griglia, la
piastra 11 viene suddivisa in celle elementari
definite, nel caso rappresentato in figura, da un
passo δ lungo l'asse y e da un passo Δ lungo l'asse
15 x. Il passo δ può essere scelto in modo arbitrario,
mentre il passo Δ è funzione della larghezza delle
linee metallizzate (fingers), indicate con il
numero di riferimento 16 in fig. 4, da sottoporre a
test.

20 Una volta definite le celle elementari come sopra
indicato, viene avviata la procedura di misura
(figg. 8c e 8d).

La testa di misura 10 viene movimentata su
comando dell'unità di controllo 101 per eseguire la
25 sequenza di misure.

In particolare, la sequenza di misura, per ciascuna cella elementare, a partire dalla prima cella (fig. 8d), prevede prima l'azionamento del blocco funzionale 12 per la misura della "sheet resistance". La fig. 4 schematizza il funzionamento del blocco 12, in cui si prevede l'abbassamento (asse z) delle quattro sonde 15, indicate con 15a, 15b, 15c, 15d (fig. 5), a contatto con lo spazio intermedio tra due fingers 16 adiacenti, l'emissione di corrente da parte della sorgente di corrente 42 attraverso la due sonde 15a e 15d esterne e la rilevazione della tensione tra le due sonde 15b e 15c interne (figg. 5 e 9b).

Eseguita la misura della "sheet resistance", il procedimento prevede l'azionamento del blocco funzionale 13, che viene abbassato sulla piastra 11, per portare le relative sonde 15 a contatto con i finger 16 più esterni presenti sulla piastra 11 campione, per ottenere la misura della "total resistance".

Per ottenere tale misura, le sonde 115a, 115b vengono portate a contatto con un primo finger 16 di estremità, mentre le sonde 115c e 115d vengono portate a contatto con un secondo finger 16 di estremità opposto al primo finger 16.

Viene fatta circolare corrente tra le sonde 115a e 115d e viene misurata la tensione tra le sonde 115b e 115c (fig. 6).

Terminata anche la misura della "total
5 resistance", viene eseguita la misura della
"contact end resistance" (fig. 9d) utilizzando il
blocco funzionale 14, che viene abbassato a
contatto con la piastra 11, per portare le sonde 15
a contatto con tre fingers 16 adiacenti.

10 In particolare, una prima sonda 215a esterna e la
sonda 215b interna ad essa adiacente vengono
portate a contatto con due fingers 16 adiacenti, la
sonda 215c viene portata a contatto con lo stesso
finger della sonda 215b mentre la sonda 215d viene
15 portata a contatto con un terzo finger 16.

Viene fatta circolare corrente tra le due sonde
215a e 215b, e viene misurata la tensione tra le
due sonde 215c e 215d (fig. 7).

Eseguita tale misura per la prima cella
20 elementare, il processo sequenziale viene iterato
per tutte le celle elementari.

Da tutte le misure eseguite, tramite un idoneo
algoritmo di calcolo, viene ottenuta la misura
della resistività del finger centrale della cella
25 di riferimento, che determina quindi la conclusione

del test sulla piastra campione.

E' ovvio che al presente trovato possono essere apportate modifiche o varianti le quali rientrano tutte nel campo di protezione come definito dalle
5 rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di test (100) per collaudare piastre (11) per circuiti elettronici, **caratterizzato dal fatto che** comprende una testa di misura (10) provvista di tre blocchi funzionali (12, 13, 14), ciascuno atto a muoversi indipendentemente dagli altri, per effettuare misure resistive distinte su una cella o piastra (11), in cui ciascuno di detti blocchi funzionali (12, 13, 14) supporta rispettive sonde di misura (15), predisposte per essere portate a contatto con linee di metallizzazione, o fingers (16), realizzate su dette piastre (11).
2. Dispositivo di test come alla rivendicazione 1, **caratterizzato dal fatto che** ciascuna di dette sonde di misura (15) è costituita da fili conduttori.
3. Dispositivo di test come alla rivendicazione 2, **caratterizzato dal fatto che** detti fili conduttori sono realizzati in tungsteno.
4. Dispositivo come alla rivendicazione 2 o 3, **caratterizzato dal fatto che** i fili conduttori, per ciascuna di dette sonde di misura (15), sono in numero di almeno quattro, di cui almeno due predisposti per iniettare corrente ed altri due per eseguire misure di tensione.

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavallotti, 6/2 - 33100 UDINE

5. Dispositivo come alla rivendicazione 2, 3 o 4, **caratterizzato dal fatto che** in ciascuna sonda di misura (15) detti fili conduttori sono disposti sostanzialmente paralleli fra loro.

5 6. Dispositivo come ad una o l'altra delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal fatto che** comprende mezzi di commutazione (43) collegati a detta testa di misura (10) per attivare selettivamente almeno uno fra detti blocchi
10 funzionali (12, 13, 14) di detta testa di misura (10).

7. Procedimento di test per collaudare piastre (11) per circuiti elettronici con il dispositivo di cui ad una o l'altra delle rivendicazioni precedenti,
15 **caratterizzato dal fatto che** comprende:

- una prima fase di isolamento di linee di metallizzazione, o fingers (16), presenti su dette piastre (11);
- una seconda fase di definizione o mappatura di
20 una griglia per la costruzione di celle elementari su cui effettuare la misura;
- una terza fase in cui, per ciascuna di dette celle elementari, vengono fatti agire in sequenza i tre blocchi funzionali (12, 13, 14) che
25 costituiscono la testa di misura (10),

rispettivamente un primo blocco funzionale (12) per la misura della resistenza superficiale, un secondo blocco funzionale (13) per la misura della resistenza totale, ed un terzo blocco funzionale
5 (14) per la misura della resistenza dei contatti di estremità.

8. Procedimento come alla rivendicazione 7, **caratterizzato dal fatto che** comprende inoltre una quarta fase in cui, dalle misure ottenute
10 complessivamente dai detti tre blocchi funzionali (12, 13, 14), viene calcolata la resistività di contatto della cella elementare selezionata.

9. Procedimento come alla rivendicazione 7 o 8, **caratterizzato dal fatto che** prevede di ripetere la
15 sequenza di misura per tutte le celle elementari in cui è suddivisa detta piastra (11) per circuiti elettronici, per ottenere il valore complessivo della resistività di contatto di detta piastra (11).

20 10. Procedimento come alla rivendicazione 7, **caratterizzato dal fatto che** detta prima fase di isolamento delle linee di metallizzazione (finger) (16) viene eseguita mediante taglio laser o meccanico.

25 p. APPLIED MATERIALS ITALIA S.R.L. - SL/ 18.10.2011

Il mandatario
STEFANO LIGI
(per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
P.le Cavedalis, 6/2 - 33100 UDINE

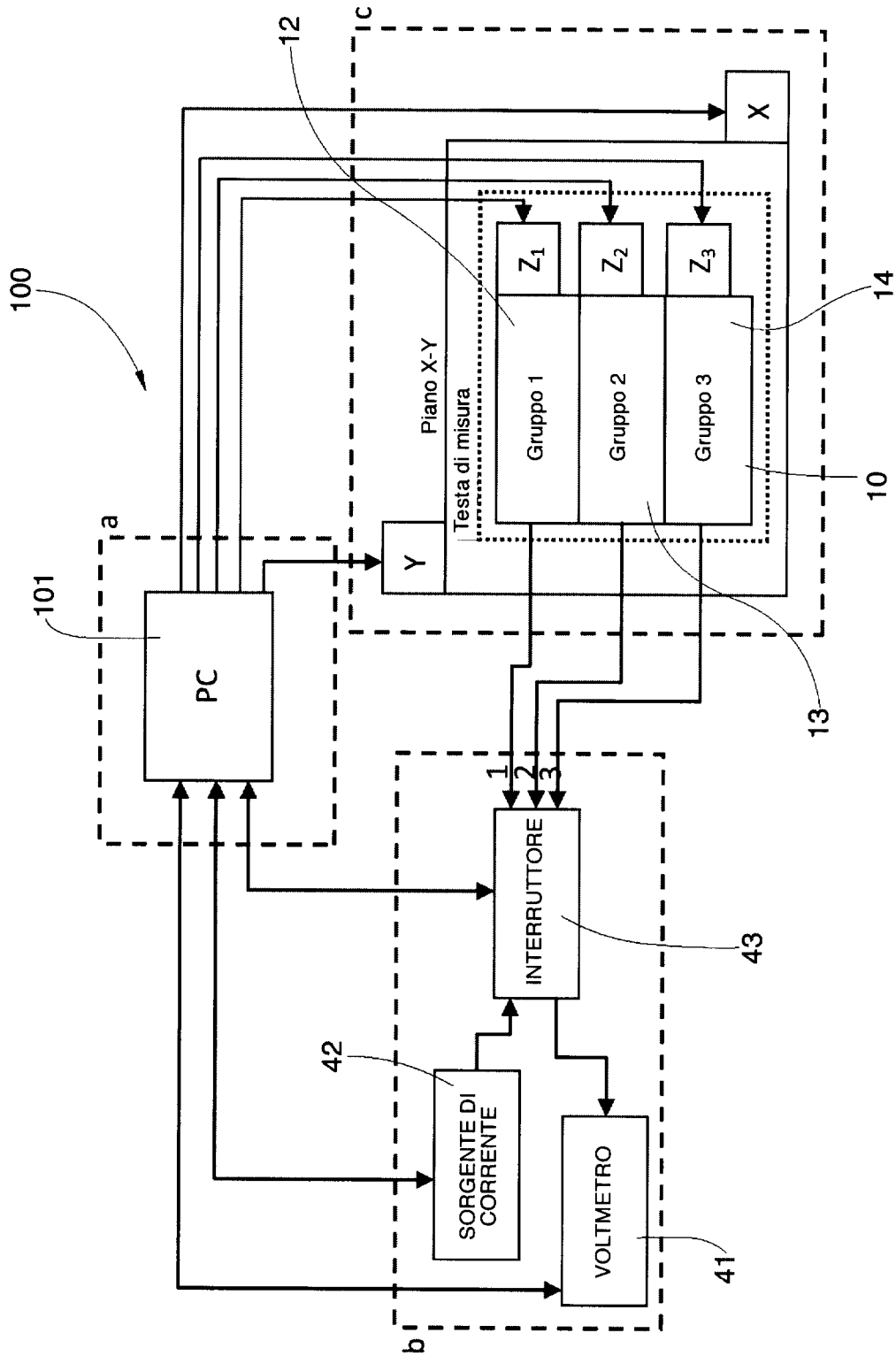
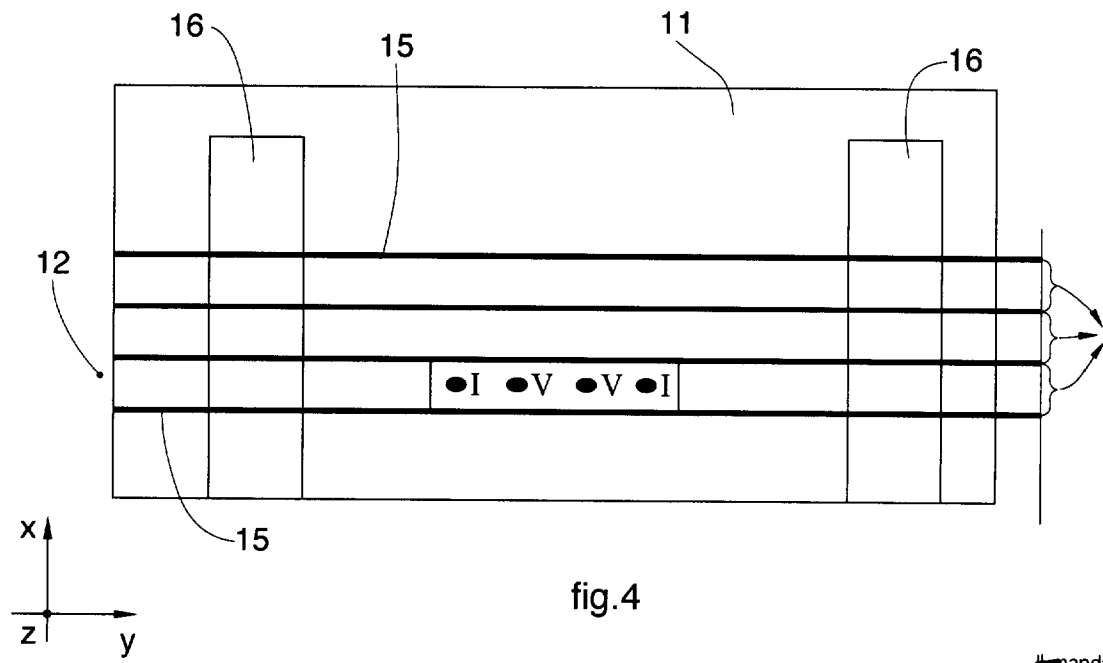
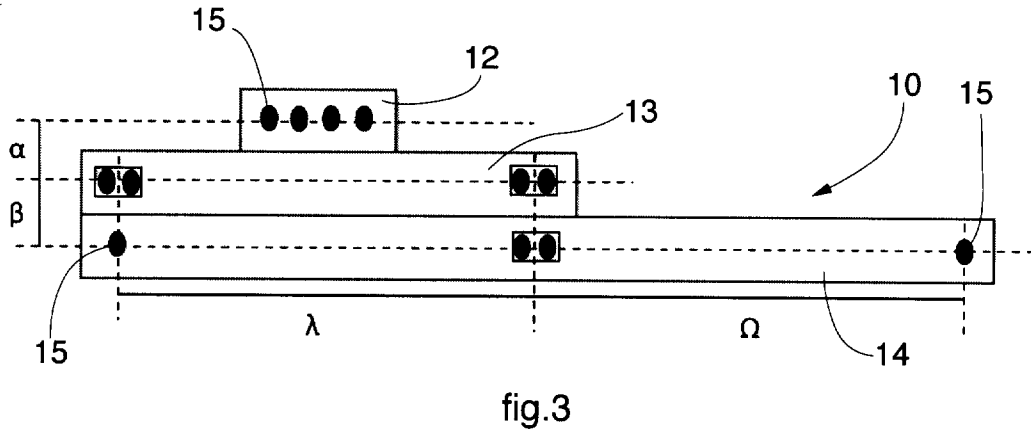
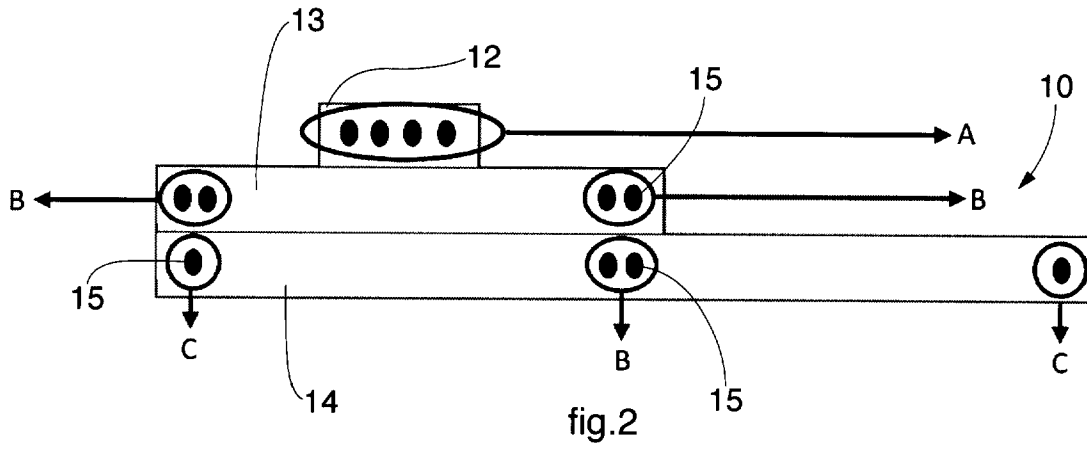


fig.1

2/5



Il mandatario
STEFANO LIGI
 (per sé e per gli altri)
STUDIO GLP S.r.l.
 P.le Cavallotti, 6/2 - 33100 UDINE

3/5

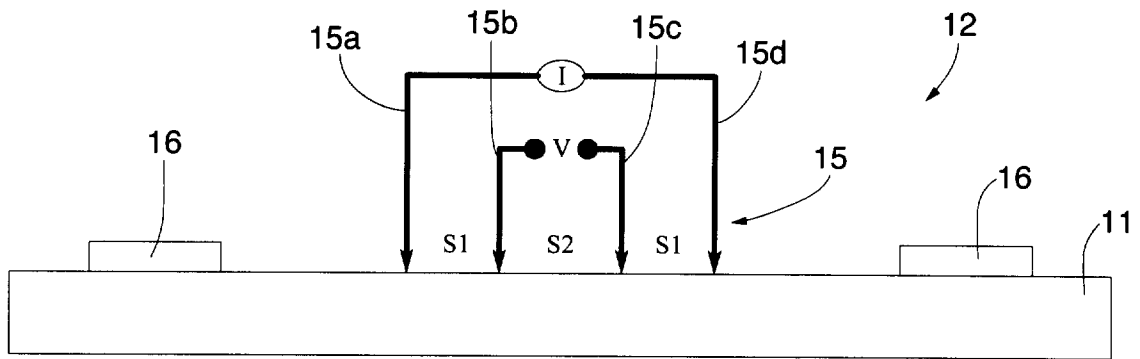


fig.5

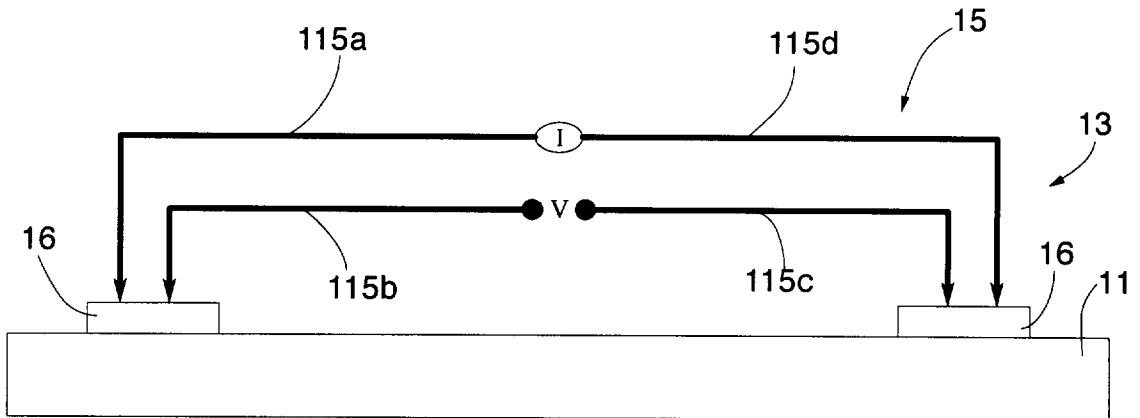


fig.6

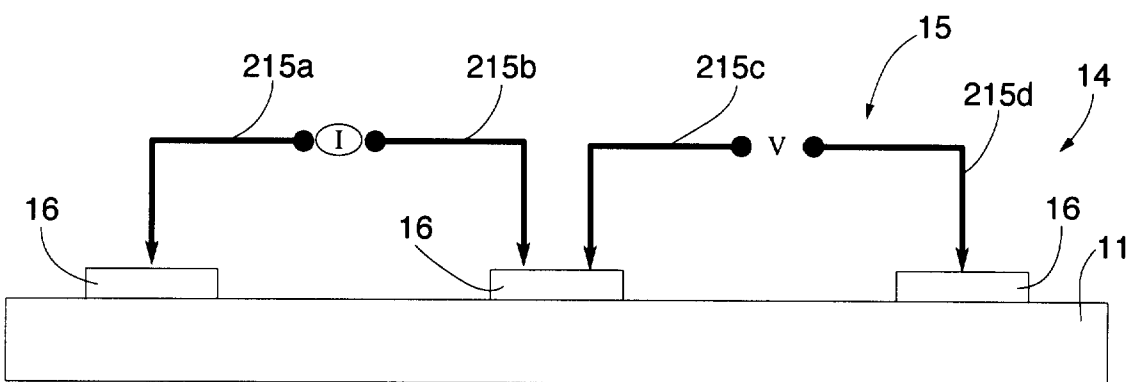


fig.7

4/5

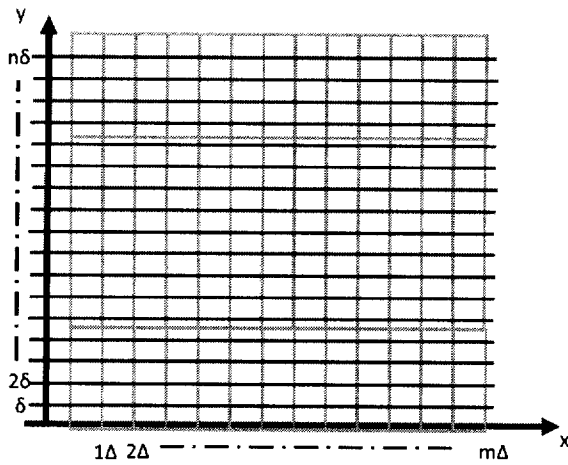


fig.8a

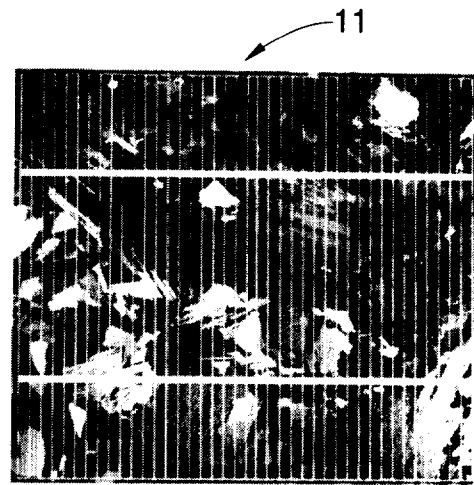


fig.8b

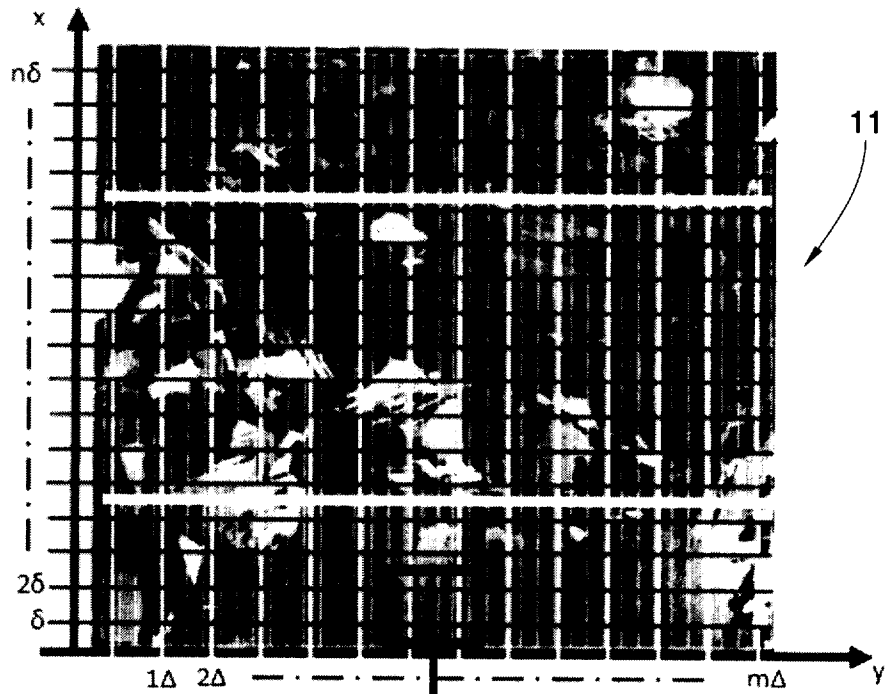
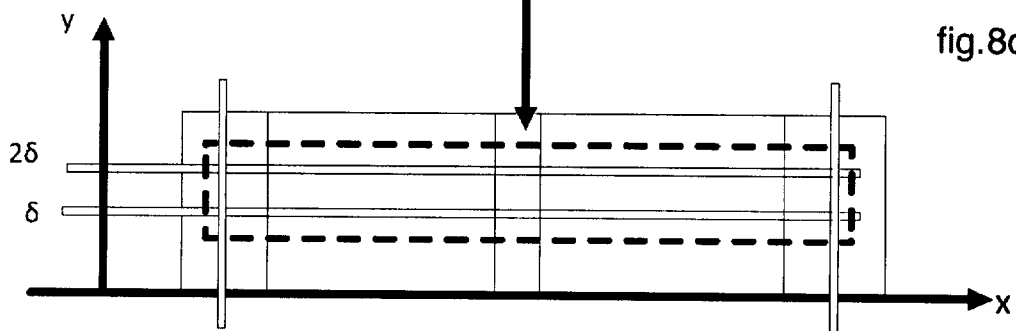


fig.8c



Cella elementare

fig.8d

5/5

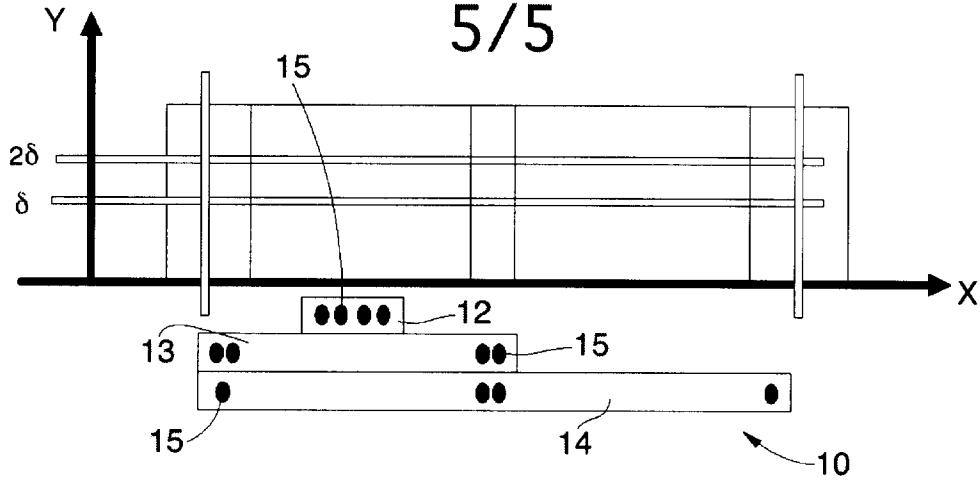


fig.9a

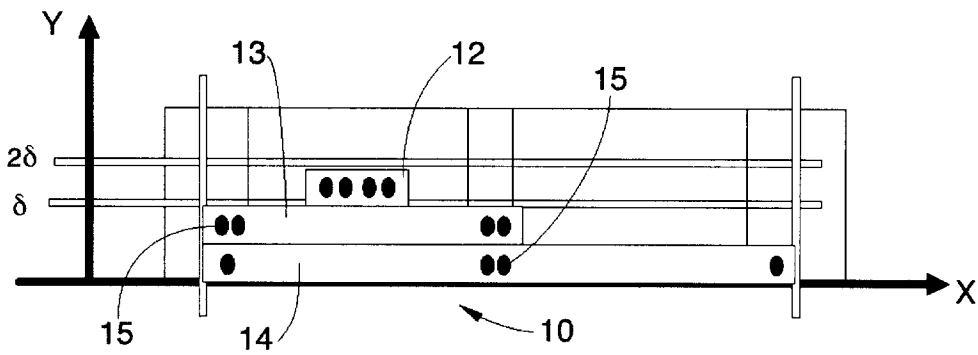


fig.9b

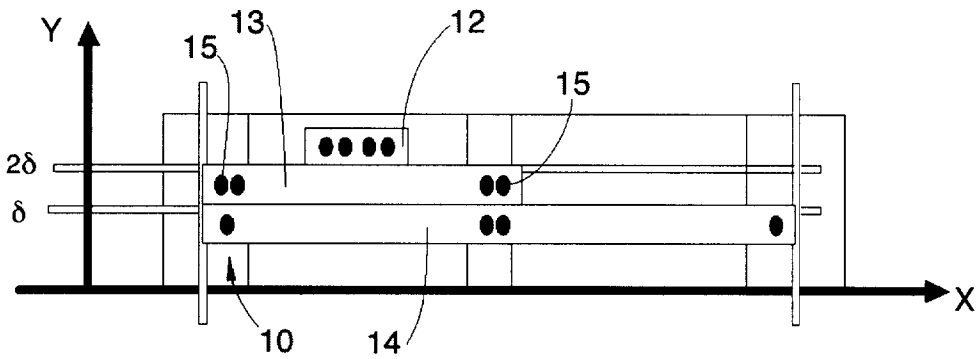


fig.9c

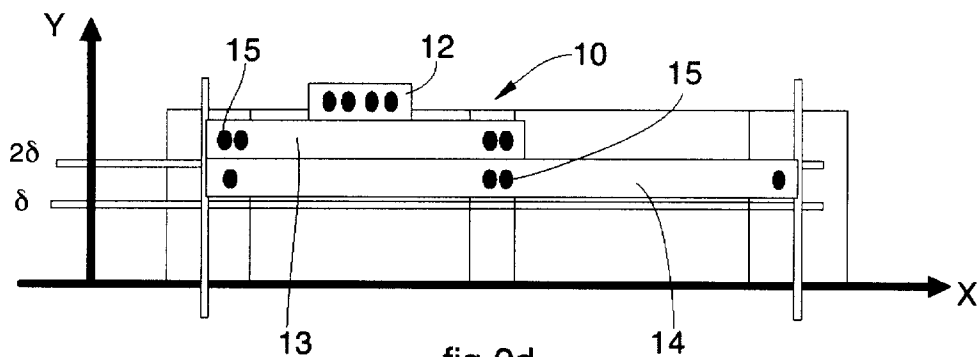


fig.9d