



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101995900444249
Data Deposito	30/05/1995
Data Pubblicazione	30/11/1996

Priorità	P4420434.5
Nazione Priorità	DE
Data Deposito Priorità	

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L		

Titolo

PROCEDIMENTO DI STRUTTURAZIONE INTEGRATO PER CELLE SOLARI A STRATO SOTTILE
IN MODALITA' COSTRUTTIVA A PILA

2026/95/S

STUDIO BREVETTI JAUMANN
di Jaumann P. & C. s.n.c.
MILANO - P.za Castello n. 2

Ditta. SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT

con sede a Berlino e Monaco (Germania)

*** **

MI 95 A 001122

DESCRIZIONE

Per migliorare l'utilizzazione della luce di celle solari a strato sottile si possono depositare l'una sull'altra in pile più celle solari a strato sottile. Con differenze drogaggio per influenzare la distanza di banda si possono produrre più celle solari assorbimento in differenti gamme dello spettro. In tal modo risulta possibile sfruttare il naturale spettro solare meglio per la produzione di corrente fotovoltaica.

Tuttavia anche celle solari a pila, nelle quali vengono impilate l'una sull'altra celle solari a strato sottile, presentano vantaggi rispetto a celle solari semplici. Con spessori di strato complessivi confrontabili e pertanto con assorbimento della luce pure confrontabile con la cella a pila si ottiene un migliore rendimento complessivo e in particolare viene decisamente migliorato il comportamento di invecchiamento (effetto Staebler-Wronski).

Le celle solari a pila sono inserite otticamente in serie laddove utilizzano materiali

30 MAG. 1995

trasparenti e garantita la corrispondente trasparenza. Elettricamente esse possono essere isolate reciprocamente in particolare contattate singolarmente oppure inserite in serie. L'adattamento di corrente necessario per la connessione elettrica in serie nella pila tuttavia è attuabile solo con difficoltà specialmente nel caso di moduli solari di grandi superficie. Nel DE-A- 42 03 123 pertanto viene proposto di sovrapporre le celle solari singole con polarità opposta e di connettere elettricamente in parallelo. Con adeguata strutturazione si riesce anche a produrre in maniera integrata un'intero modulo solare, laddove le singole pile sono connesse reciprocamente in serie.

Tuttavia si hanno problemi per la strutturazione di un tale modulo solare di celle a pila, in quanto i singoli strati devono essere necessariamente strutturati reciprocamente specificamente, il che richiede specifici procedimenti di asportazione del materiale. In procedimenti di strutturazione a laser solo con difficoltà si può controllare la profondità di penetrazione. Inoltre in seguito all'azione del laser possono verificarsi alterazioni strutturali nel semiconduttore, che possono portare ad indesiderati

percorsi elettroconduttivi nella cella solare e possono cortocircuitarla.

La presente invenzione si pone pertanto il compito di indicare un procedimento perfezionato per la strutturazione di tali celle solari a pila, di esecuzione semplice e sicura ed evitante gli inconvenienti summenzionati.

Secondo l'invenzione, questo problema viene risolto mediante un procedimento con le caratteristiche della rivendicazione 1. Ulteriori esecuzioni dell'invenzione sono desumibili dalle sottorivendicazioni.

Con il procedimento secondo l'invenzione è possibile produrre una perfetta strutturazione rispettivamente linee di taglio a forma di fossa con bordi netti. A tale scopo non si dovrà applicare alcun materiale mediante vaporizzazione; anzi lo strato semiconduttore, in cui viene assorbito il laser, viene disgregato dal sottostante strato non assorbente. L'energia meccanica che si libera con la disgregazione è sufficiente per poter sollevare concomitantemente anche più zone stratificate sovrastanti. A riguardo è sufficiente un singolo spot laser della durata ad esempio di 50 ps per disgregare completamente il materiale semiconduttore nel fuoco

del raggio laser. Poichè l'energia necessaria per la strutturazione del modulo solare è indipendente dalla profondità della linea di sezione produrre, il procedimento può essere attuato rapidamente e comparativamente con risparmio energetico.

I bordi di cavi in particolari non presentano alcuna alterazione di fase che potrebbe rappresentare percorsi di corrente indesiderati e quindi corto-circuiti.

Il procedimento secondo l'invenzione inoltre indica come si possono realizzare sicuramente le linee di strutturazione del modulo solare con consumo minimo di superficie semi-conduttive ma attiva. Ciò garantisce una potenza massima e pertanto un rendimento massimo per il modulo solare.

La produzione degli strati nei cinque piani del modulo solare avviene rispettivamente sull'intera superficie in base a metodi noti. Dopo la deposizione degli strati rispettivamente di un piano ha luogo la fase di strutturazione in cui nello strato si producono linee di sezione fra di loro parallele.

Per il procedimento è necessaria un substrato trasparente. Il primo piano è uno strato elettrodico TCO, che viene strutturato mediante irraggiamento laser diretto convenzionale

meccanicamente oppure mediante un procedimento Lift-off.

Il secondo piano è uno strato semiconduttore con struttura a diodi pin per formare le celle solari. Per la deposizione si impiegano procedimenti di deposizione a strato sottile di per sé noti, sostenuti da plasma. La strutturazione del secondo piano viene attuato mediante irraggiamento attraverso substrato e attraverso lo strato elettrodico TCO del primo piano. La disgregazione avviene mediante surriscaldamento locale del semiconduttore nello spot del laser in corrispondenza della superficie limite fra strato elettrodico TCO e strato semiconduttore.

Il terzo piano è di nuovo uno strato elettrodico TCO. La relativa strutturazione avviene mediante disgregazione insieme al sottostante strato semiconduttore mediante irraggiamento laser dal lato posteriore.

Il quarto piano è di nuovo un piano delle celle solari, laddove il semiconduttore viene prodotto in struttura a diodi nip. In tal modo le celle solari dei due piani delle celle solari sono connessi in parallelo. La strutturazione del quarto piano avviene analogamente al primo piano delle celle solari. In tal caso è possibile effettuare

l'irraggiamento direttamente nello strato semiconduttore del quarto piano, quando nell'ambito di questa quarta linea di sezione nel secondo piano (primo piano delle celle solari) è tolto lo strato semiconduttore. Tuttavia è anche possibile disgregare il quarto piano mediante disgregazione in comune insieme al sottostante secondo piano mediante irraggiamento nello strato semiconduttore del secondo piano.

Come quinto piano si applica di nuovo uno strato elettrodico TCO. La relativa strutturazione avviene mediante disgregazione insieme al quarto piano oppure analogamente alla strutturazione del quarto piano mediante disgregazione insieme al secondo piano.

Le possibilità di variazione relativamente alla "profondità" delle linee di sezione risulta con adeguata disposizione delle linee di strutturazione rispettivamente con linee di sezione corrispondentemente posizionate. Una strutturazione del quinto piano (terzo piano elettrodico) può avvenire ad esempio mediante disgregazione insieme al quarto piano (secondo piano della cella solare) quando la relativa linea di sezione si trova nell'ambito della seconda linea di sezione per il

secondo piano (primo piano delle celle solari). Poichè la quinta linea di strutturazione è sfalsata lateralmente rispetto alla seconda linea di strutturazione la seconda linea di sezione dovrà essere pertanto realizzata più larga della quinta linea di sezione. In tal modo si ottiene che lo strato semiconduttore del secondo piano (primo piano delle celle solari) nell'ambito della quinta linea di sezione è già allontanato in questa precedente fase di strutturazione.

Un'ulteriore possibilità consiste nel realizzare la linea di sezione per la strutturazione del secondo piano, di larghezza tale da sovrapporsi con le linee di sezione conformi alla quarta e alla quinta linea di strutturazione. In questo caso la strutturazione sia del quarto sia anche del quinto piano avviene esclusivamente mediante disgregazione dello strato semiconduttore del quarto piano, rispettivamente mediante disgregazione dello strato semiconduttore del quarto piano insieme al sovrastante strato elettrodico del quinto piano della radiazione laser.

In ogni caso è necessario provvedere affinché le linee di sezione per la strutturazione del primo e del secondo piano rispettivamente del

terzo e del quarto piano vengono disposte in modo da non aver alcuna zona di sovrapposizione. Soltanto così viene garantuito che fra differenti piani elettrodici non si formino indesiderati ponti conduttori, che potrebbero portare al corto-circuito elettrico di singole celle solari. Le rimanenti linee di sezione possono essere disposte in modo che si verificano leggere sovrapposizioni.

Tuttavia è anche possibile disporre tutte le linee di sezione in modo che non si verifica sovrapposizione reciproca.

La selezione del laser per il procedimento secondo l'invenzione avviene in modo che la relativa lunghezza d'onda si trova in una gamma di forte assorbimento della cella solare rispettivamente del materiale semiconduttore della cella solare. Per silicio amorfo a tale scopo è necessario un laser blu oppure verde, ad esempio un laser Nd:YAG- oppure un laser Nd:YLF di frequenza doppia. Per questo laser si può impiegare un'ottica di vetro formata da uno specchio e da un alente.

Per tenere il più possibile modesta la sollecitazione termica dello strato semiconduttore rispettivamente dei relativi bordi di sezione, si impiega un profilo di radiazione ricercato ed una

energia impulsi scelta ottimalmente. Si ottiene una distribuzione radiale dell'intensità del raggio laser con profilo di Hauß per il procedimento si impiegail modo TEM₀₀. Ulteriori vantaggi sono portati da un profilo dei raggi rettangolare. In ghegenerale è vantaggioso un profilo, la cui intensità diminuisce rapidamente in corrispondenza del bordo.

Per i laser impiegati a sostanza solida i frequenze di ripetizione degli impulsi, adatte per il procedimento secondo l'invenzione rientrano nella gamma da 1 fino a 100 KHz. Verso l'alto la frequenza è limitata dalla densità energetica diminuente degli impulsi laser e dalla necessaria dispersione termica da zone di strato non disgregate. La lunghezza degli impulsi laser, vantaggiosamente è inferiore a 200ns, per evitare un eccessivo riscaldamento del materiale. Lunghezze di impusli laser ottimamente adatti sono comprese fra 20ns e 50ps.

Di seguito l'invenzione viene illustrata dettagliatamente in base a tre esempi di realizzazione e alle relative 11 fiugre.

In particolare:

le figg. 1 fino a9 mostrano un modulo solare in sezione trasversale schematica durante differenti stadi del procedimento per la produzione mentre

le figg- 10 e 11 mostrano dettagli schematici da moduli solari strutturati finiti conformemente a due ulteriori esempi di realizzazione.

Primo esempio di realizzazione

Fig. 1: per il primo esempio di realizzazione le linee di sezione per le singole fase di strutturazione vengono disposte in modo che non si verifica sovrapposizione reciproca. Su un substrato 1 trasparente è fatto ad esempio di vetro come primo piano E1 viene applicato uno strato elettrodico TCO. Il sottile ossido conduttivo del piano E1 è fatto ad esempio di uno strato di ossido di zinco dello spessore di 1 μ m, drogato con alluminio o boro per migliorare la conducibilità. Tuttavia è anche possibile realizzare lo strato TCO indicato con E1 con ossido di stagno drogato con fluoro oppure con ossido di indio e stagno.

Per strutturare lo strato elettrodico E1 questo viene suddiviso in più aree a forma di striscia ad esempio mediante azione laser diretta dall'alto. Il laser viene guidato lungo linea di strutturazione P1 disposte parallelamente fra di loro laddove nell'ambito degli incavi S1 a forma di fosse viene scoperto il substrato 1. La larghezza delle

strisce elettrodiche ottenute con questa strutturazione, nel primo piano elettrodico E1 può essere ottimizzata su un rendimento massimo rispettivamente su un rapporto ottimale fra linee di strutturazione e superficie semiconduttice attiva nel successivo modulo solare. Solitamente la larghezza delle strisce elettrodiche E1 tuttavia si dimensiona in base alla larghezza del substrato e alla tensione che dovrà produrre il modulo solare connesso integrato. Solitamente si sceglie una larghezza di pochi centimetri per le strisce elettrodiche rispettivamente per le successive celle solari singole a striscia.

Fig. 2: sul primo piano elettrodico E1 viene ora prodotta per l'intera superficie una cella solare a strato sottile, ad esempio mediante deposizione in fase gassosa coadiuvata da plasma. A tale scopo si deposita silicio amorfo da silano, laddove miscelando corrispondentemente i gas di drogaggio boran e fosfina si produce una struttura pin nel secondo piano E2 (primo piano delle celle solari). Per evitare l'effetto Staebler-Wronski la cella solare viene prodotta con uno spessore di ad esempio 200 nm o meno.

fig. 3: La cella solare del piano E2

applicato sull'intera superficie viene ora strutturata lungo seconda linea di strutturazione P2. A tale scopo con l'ausilio di un laser Nd:YAG di frequenza doppia viene effettuata irradiazione dal lato posteriore e viene effettuata focalizzazione sulla superficie limite fra primo piano E1 e secondo piano E2. Con una frequenza di 1 fino a 100 KHz e una durata degli impulsi di ad esempio 50 ps è sufficiente un singolo spot laser, per disgregare nell'ambito del suo fuoco il materiale semiconduttore del piano E2 delle celle solari. Con un movimento relativo fra substrato e laser i singoli spot vengono collocati l'uno accanto all'altro in modo che si ottiene una linea di sezione S2 a forma di fossa che estende sull'intera lunghezza del modulo solare. la linea di strutturazione P2 viene disposta vicinissima accanto alla linea di strutturazione P1 e non presenta sovrapposizione con questa. Con la configurazione indicata la linea di sezione S2, con disposizione lineare dei singoli spot consecutivamente, possiede una larghezza di circa 30 fino a 50 μ m, che tuttavia può variare con l'energia degli spot singoli.

Fig. 4: sulle celle solari strutturate del secondo piano E2 viene ora depositato per l'intera

superficie come terzo piano E3, un'ulteriore strato elettrodico in modo simile allo strato elettrodico del primo piano E1. La deposizione del piano elettrodico E3 avviene in modo che il materiale TCO riempie concomitaneamente la linea di sezione S2 e stabilisce così un contatto omico con lo strato elettrodico del primo piano E1 accostato nella linea di sezione S3.

Fig. 5: Per la strutturazione del piano elettrodico E3 vengono prodotte linee di sezione S3. A tale scopo con l'ausilio del citato laser Nd: YAG lungo linee di strutturazione P3 di nuovo attraverso il substrato viene effettuato irraggiamento nel piano E2 delle celle solari. In tal caso il materiale semiconduttore del piano E2 nell'ambito del raggio laser viene disgregato dal sottostante strato elettrodico E1, laddove viene trascinata concomitantemente la zona sovrastante del piano elettrodico E3. La linea di strutturazione P3 è sfalsata in ragione di almeno tre volte la larghezza della linea di sezione S3 rispetto alla linea di strutturazione P2 rispettivamente alla linea di sezione S2, cosicchè lo spazio intermedio è sufficiente per la disposizione di due ulteriori linee sezione senza sovrapposizione.

Fig. 6: sul piano elettrodico E3 viene ora prodotta nel quarto piano E4 una cella solare di superficie intera con struttura nip. Ad eccezione dell'orientamento della giunzione pn per questa cella solare valgono le stesse condizioni di fabbricazione della cella solare del secondo piano E2.

Fig. 7: per la struttura del piano E4 delle celle solari con un laser viene effettuato irraggiamento lungo la linea di strutturazione P4 dal lato posteriore attraverso il substrato. In tal caso di nuovo materiale semiconduttore del secondo piano viene disgregato dal sottostante strato elettrodico del primo piano E1 con trascinarsi di sovrastanti zone di strato dei piani E3 ed E4. La linea di strutturazione P4 viene disposta fra le linee di strutturazione P2 e P3 direttamente accanto all'ultima, ma non presenta sovrapposizione con questa.

Fig. 8: Sul piano strutturato E4 delle celle solari nel quinto piano viene ora applicato per l'intera superficie un'ulteriore strato elettrodico TCO. Lo strato elettrodico E5 viene depositato in modo che le linee di sezione S4 vengono riempite con materiale elettrodico per cui si stabilisce un contatto omico con la superficie del piano

elettrodico E1 scoperta nella linea di sezione S4.

Fig. 9: In ultima fase di strutturazione mediante nuovo irraggiamento laser attraverso il substrato lungo le linee di strutturazione P5 vengono prodotte le corrispondenti linee di sezione S5. Anche in questo caso il materiale viene effettuato irraggiamento nel materiale semiconduttore del piano E2 delle celle solari e questo nell'ambito del laser viene disgregato dal sottostante strato elettrodico del piano E1 insieme alle sovrastanti zone di strato. La linea di strutturazione P5 si trova fra la linea di strutturazione P2 e la linea di strutturazione P4.

Nella figura 9 è rappresentato un modo a celle solari a pila in tal modo realizzato. Per effetto della polarità opposta della giunzione pn degli strati a celle solari E2 ed E4 le celle solari all'interno di una pila sono inseriti in parallelo, mentre le singole pile sono inserite reciprocamente in serie. Mentre all'interno di una pila si sommano le correnti prodotte fotovoltaicamente, con la connessione in serie la tensione del modulo solare viene aumentata, laddove la tensione complessiva del modulo solare corrisponde circa al prodotto del numero delle pile di celle solari a striscia e della

tensione di una singola cella.

Secondo esempio di realizzazione

La fig. 10 mostra un modulo solare strutturato finito secondo l'invenzione ed in cui è variata la disposizione delle linee di strutturazione P2 e P5. Nell'esempio di realizzazione in questione la seconda linea di strutturazione P2 mediante corrispondente divisione modulare del raggio laser impiegato a tale scopo viene realizzato più larga delle rimanenti linee di strutturazione. la linea di strutturazione P3 viene sfalsata rispetto alla linea di strutturazione P4 in misura tale che fra questa rimane ancora spazio per la linea di strutturazione P4. Mentre il procedimento fin qui ad eccezione della disposizione delle linee di strutturazione ampiamente identico al primo esempio di realizzazione, si rileva la sostanziale differenza per la strutturazione del piano elettrodico E5. La linea di strutturazione P5 è centrata sulla linea di strutturazione P2 ma presenta una minore larghezza rispetto a P2. Il raggio laser con questa strutturazione pertanto può passare senza impedimento fino al piano delle celle solari E4 attraverso le sottostranti zone di strato trasparenti del sub strato 1, piano elettrodico E1 e piano elettrodico E3. La disgregazione avviene pertanto al

di sopra del piano elettrodico E3. Ciò comporta il primo luogo consistente nel fatto che la linea di sezione SS in tal modo prodotta passa soltanto attraverso due strati, ossia per la strutturazione si dovranno disgregare soltanto due strati. ciò consente una più netta strutturazione. D'altro canto le linee di strutturazione devono essere scelte più vicine fra di loro, risultando minima la perdita di superficie semiconduttrice attiva in seguito alle fasi di strutturazioni.

Il terzo esempio di realizzazione

La figura 11 mostra un modulo a celle solari a pila strutturato finito conformemente al terzo esempio di realizzazione. In questo esempio di realizzazione la strutturazione del piano E2 delle celle solari viene attuata con un raggio laser conformemente alla linea di strutturazione P2 di spiegato con larghezza tale che le linee di strutturazione P4 e P5 si adattano in questa linea di strutturazione P2. L'allargamento della linea di strutturazione P2 avviene o utilizzando un'ampio raggio laser oppure mediante divisione modulare di uno (stretto) raggio laser. La divisione modulare viene ottenuta in quanto più sezioni laser vengono attuate direttamente l'una accanto all'altra. In tal

modo si ottiene che per la strutturazione del piano delle celle solari E4 e del piano elettrodico E5 è possibile irradiare direttamente nel piano E4 delle celle solari, poichè materiale semiconduttore situato in questa zona del piano E2 delle celle solari è stato già tolto con la seconda fase di strutturazione. La strutturazione del piano E4 delle celle solari richiede pertanto soltanto la disgregazione di questo strato mentre la strutturazione del piano elettrodico E5 avviene mediante disgregazione della corrispondente zona del piano autorizzato delle celle solari insieme al sovrastante piano elettrodico E5. Anche questo esempio di realizzazione rispetto al primo esempio di realizzazione è caratterizzato da un consumo minimo di superficie di semiconduttrice attiva. Questo vantaggio tuttavia viene compensato dall'elevato dispendio necessario a causa della linea di sezione S2 da realizzare larga.

Con l'invenzione per tanto viene proposto un procedimento con cui si possono produrre moduli solari a celle a pila connessi in maniera integrata. In particolare procedimento non è limitato a celle solari di silicio amorfo. Anzi il procedimento secondo l'invenzione può essere impiegato anche per altri

tipi di celle sorali producibili in modalità
costruttiva a strato sottile.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per produrre un modulo solare con pile di celle solari a strato sottile (E2 ed E4) connesse integrate e con complessivamente tre piani elettrodici TCO (E1 E3 ed E5) su un substrato trasparente (1) in cui fra rispettivamente due piani elettrodici è disposto un piano con celle solari pin rispettivamente nip, strutturate a striscia, ed in cui celle solari sovrapposti nella pila sono inserite in parallelo e le pile sono inserite fra di loro in serie con le seguenti caratteristiche:

- viene prodotto sempre rispettivamente un piano (E1-E5) mediante deposizione di strato sull'intera superficie e successivamente viene effettuata strutturazione lungo preassegnate linee di di strutturazione (P1-P5) fra di loro parallele

- la strutturazione dei piani delle celle solari (E2 ed E4) e dei due piani elettrodici superiori (E3 E5) avviene mediante laser dal lato posteriore attraverso il substrato, laddove mediante assorbimento dei raggi laser in un piano delle celle solari (E2 E4) il semiconduttore viene disgregato con formazione di linee di sezione (S1-S5) a forme di fosse

- le linee di strutturazione (P1-P5) vengono

disposte rispettivamente sfalsate l'una accanto all'altra in modo che si ottiene una disposizione nell'ordine di successione (P1-P5-P4-P3).

2. Procedimento secondo rivendicazione 1, in cui la linea di sezione (S2) lungo la seconda linea di strutturazione (P2) viene realizzata più larga di quella lungo le rimanenti linee di strutturazione, cosicchè essa si sovrappone con la linea di sezione (S5) conformemente con (P5).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, in cui le linee di sezione (S4, S5) conformemente alla quarta e alla quinta linea di strutturazione (P4) e (P5) si sovrappongono con la seconda linea di strutturazione (P2).

4. Procedimento secondo la rivendicazione da 1 fino a 3, in cui le linee di sezione (S1/S2, S3/S4,) rispettivamente vicine, conformemente a (P1 e P2) rispettivamente (P3 e P4) vengono disposte in modo da non sovrapporsi reciprocamente.

5. Procedimento secondo una delle rivendicazioni da 1 fino a 4 in cui si impiega un laser produttore un laser produttore un raggio con distribuzione radiale dell'intensità.

6. Procedimento secondo una delle rivendicazioni da 1 fino a 5 in cui si impiega un laser la cui

lunghezza d'onda si trova in una gamma di elevato assorbimento della cella solare rispettivamente del relativo materiale semiconduttore.

7. Procedimento secondo una delle rivendicazioni da 1 fino a 6 in cui celle solari di silicio amorfo a-Si:H oppure leghe comprendenti silicio amorfo vengono strutturate con un laser a corpo solido.

8. Procedimento secondo la rivendicazione 7 in cui si impiega un laser a impulsi Nd: YAG- oppure Nd:YLF con una lunghezza degli impulsi da 50ps fino a 20ns.

Il Mandatario (Paolo Jaumann)

dello

STUDIO BREVETTI JAUMANN
di Jaumann P. & C. s.n.c.

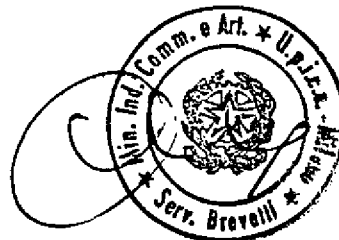


FIG 1

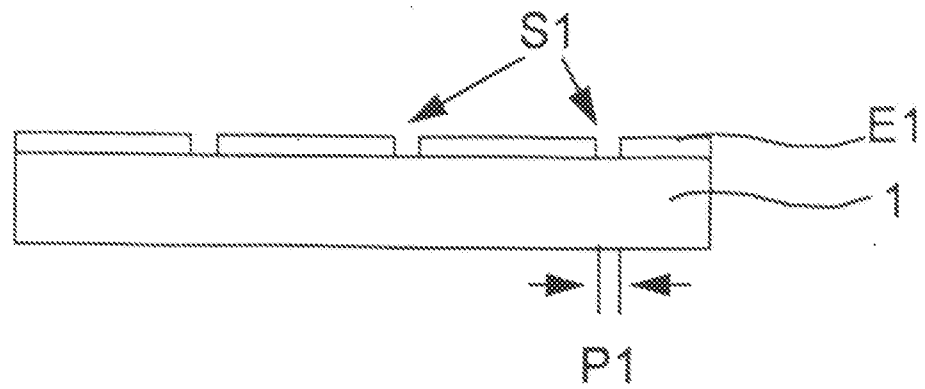


FIG 2

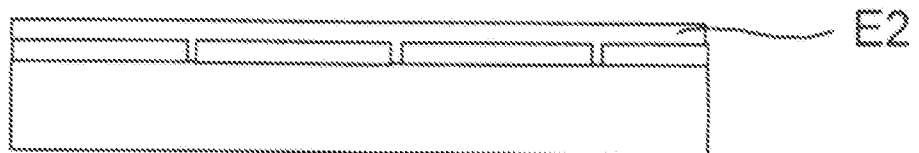


FIG 3

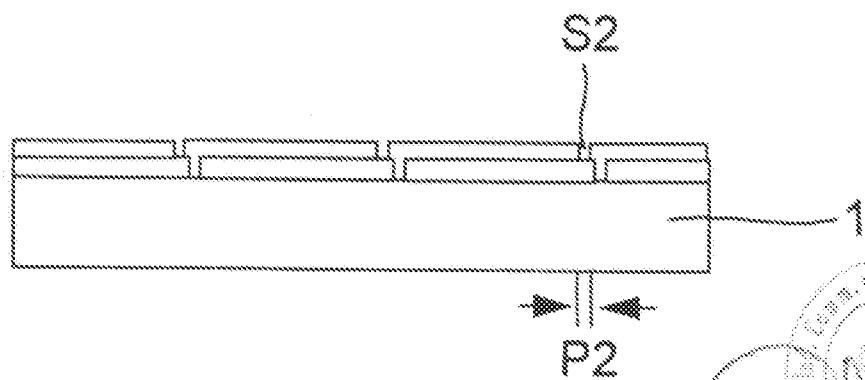


FIG 4

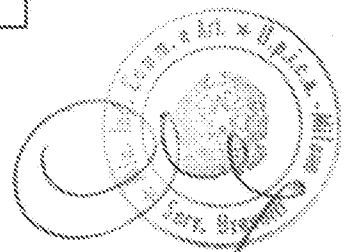
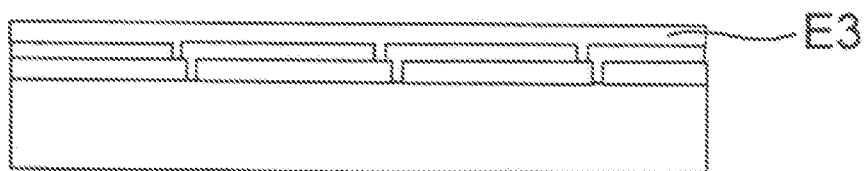


FIG 5

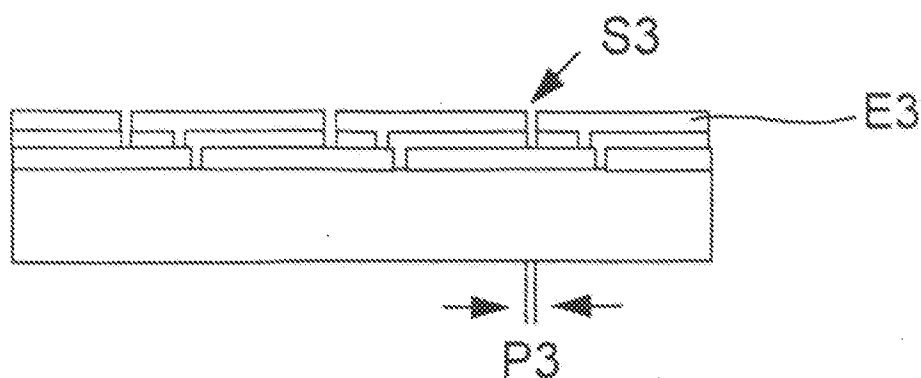


FIG 6

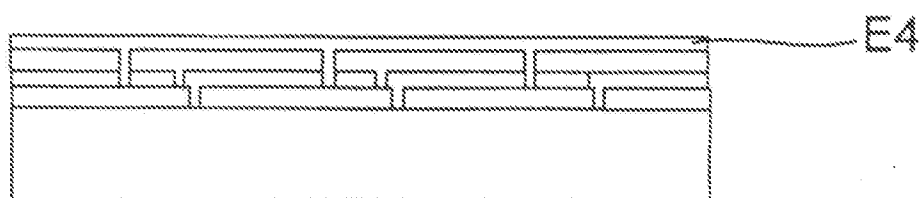


FIG 7

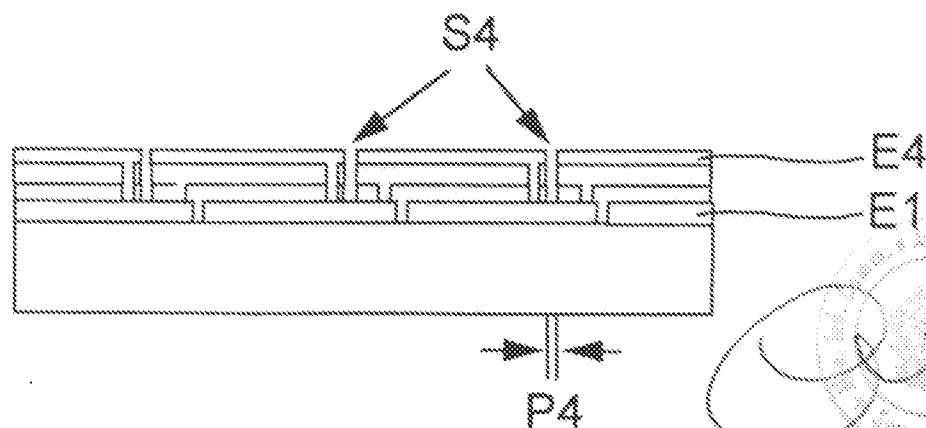


FIG 8

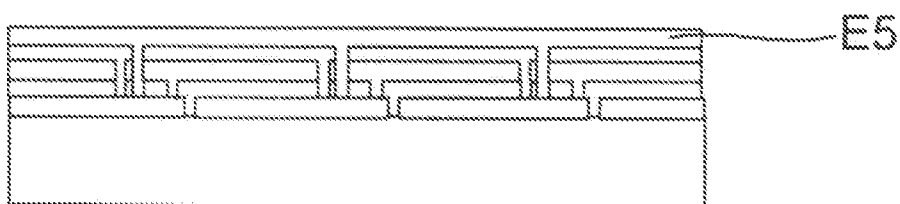


FIG 9

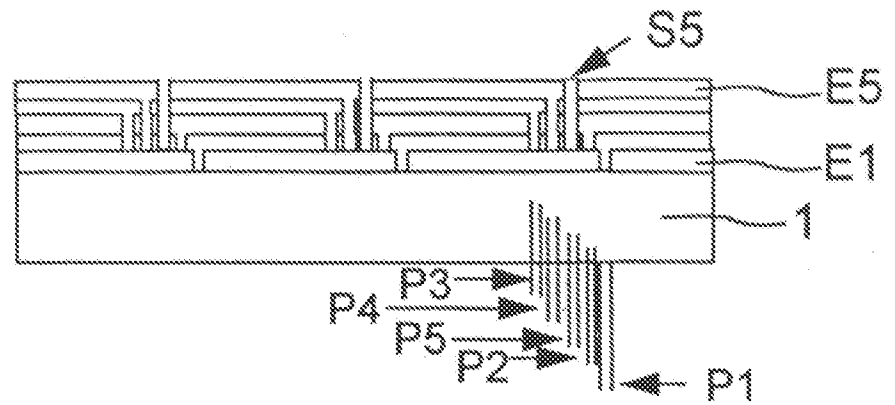


FIG 10

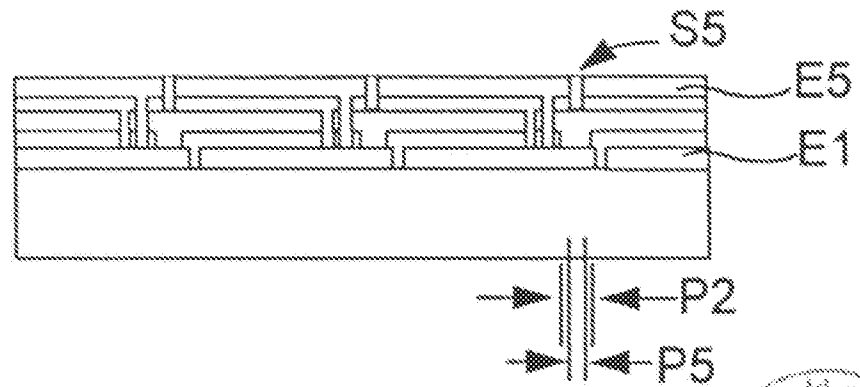


FIG 11

