

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	101989900089795
Data Deposito	15/11/1989
Data Pubblicazione	15/05/1991

Classifiche IPC

Titolo

RETE NEURALE CON CAPACITA' DI APPRENDIMENTO PER IL TRATTAMENTO DI INFORMAZIONI, E PROCEDIMENTO PER IL TRATTAMENTO DI INFORMAZIONI CON L'IMPIEGO DI TALE RETE.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:
"Rete neurale con capacità di apprendimento per il
trattamento di informazioni, e procedimento per il
trattamento di informazioni con l'impiego di tale
rete"

di: ENIRICERCHE S.p.A., nazionalità italiana, San
Donato Milanese (Milano)

Inventore designato: Prof. Nicola MINNAJA

Depositata il: 15 novembre 1989

* * *

68006 A-89

RIASSUNTO

La rete neurale comprende una pluralità di
circuiti sinaptici a cui è associata una matrice
includente

una pluralità di elettrodi di riga,

una pluralità di elettrodi di colonna, ed

una pluralità di regioni ordinate di connessione
fra elettrodi di riga ed elettrodi di colonna.

Almeno una parte di dette regioni di
connessione comprende un materiale elettrocromico.

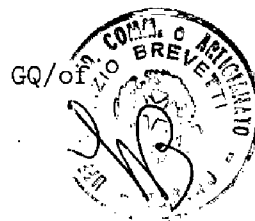
(Figura 4)

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione riguarda una rete



neurale per il trattamento di informazioni, ed un procedimento di trattamento di informazioni nel quale si prevede l'impiego di tale rete neurale.

Stato della tecnica anteriore

In epoca recente vi è stato un notevole aumento di interesse per le reti neurali, basate su modelli neuronici.

Molti fattori hanno contribuito a ciò: i neurobiologi hanno cominciato a comprendere meglio i meccanismi dell'elaborazione biologica, la disponibilità di potenza di calcolo a bassi costi ha permesso analisi particolareggiate dei modelli circuitali dei sistemi biologici, ed infine è aumentato l'interesse per l'elaborazione parallela e per la VLSI (integrazione a grandissima scala) analogica, che a loro volta si prestano all'attuazione di circuiti di tipo neuronico. Questi sviluppi sono stati accompagnati dalla formulazione di nuovi modelli neuronici.

Secondo il modello di J.J.Hopfield (si veda Proceedings of the National Academy of Science U.S.A., Vol.79, pag.2554, 1982) un neurone può essere simulato come un elemento sommatore dotato di una funzione di trasferimento non-lineare, i cui ingressi sono "pesati" con coefficienti

caratteristici della rete.

In una realizzazione circuitale nota (si veda C.Mead, "Analog VLSI and Neural Systems", Addison-Wesley, 1989), i suddetti coefficienti di peso caratteristici della rete possono essere definiti attraverso valori di transconduttanza di transistori MOS, i quali valori a loro volta possono essere definiti mediante i valori di resistenza di resistori. Una rete neuronica risulta così definita una volta che siano stati definiti i valori dei coefficienti di peso assegnati ai suoi ingressi. Per contro una rete neuronica per una nuova e diversa funzione deve essere costruita ex-novo, con transistori aventi transconduttanze corrispondentemente diverse.

Una rete neurale adattabile alla realizzazione di funzioni diverse è descritta nel brevetto USA 4.760.437. Tale rete neuronica nota comprende una matrice includente una pluralità di elettrodi di riga, una pluralità di elettrodi di colonna ed una pluralità di regioni ordinate di intersezione fra elettrodi di riga ed elettrodi di colonna. A ciascuna di tali regioni di intersezione è associato un elemento di materiale fotoconduttore, la cui resistenza elettrica viene determinata

attraverso l'intensità di una radiazione luminosa che viene fatta incidere su tale elemento. La resistenza così determinata di tale elemento corrisponde al valore di un coefficiente di peso associato alla locazione della matrice cui tale elemento appartiene.

Ad una matrice neuronica di tale tipo viene quindi associata una maschera, quale una lastra fotografica, con zone a trasparenza diversa in funzione dei coefficienti di peso da assegnare alle varie locazioni della matrice. La matrice viene quindi illuminata con una sorgente di luce uniforme, attraverso detta maschera, e la matrice risulta in tal modo "specializzata" per la realizzazione della funzione desiderata.

Con una rete neurale del tipo secondo il sopracitato brevetto statunitense la modifica della funzione realizzata dalla rete richiede che venga sostituita la maschera attraverso la quale vengono definite le resistenze elettriche degli elementi fotosensibili della matrice. Tale tipo di operazione non è evidentemente realizzabile in modo continuo nel corso dell'elaborazione. In altri termini, la rete neurale secondo il brevetto USA 4,760,437 non ha la cosiddetta "capacità di apprendimento".

cioè la possibilità di consentire l'alterazione ovvero l'aggiornamento "on line" i pesi associati ad almeno alcune locazioni della matrice.

Definizione dell'invenzione

La presente invenzione ha lo scopo di realizzare una rete neuronica del tipo anzidetto, realizzata in modo tale che essa sia dotata di capacità di apprendimento.

Tale scopo viene realizzato secondo l'invenzione mediante una rete neurale per il trattamento di informazioni comprendente dispositivi elettronici attivi a cui è associata una matrice includente una pluralità di elettrodi di riga, una pluralità di elettrodi di colonna ed una pluralità di regioni ordinate di connessione fra elettrodi di riga ed elettrodi di colonna, detta rete neurale essendo caratterizzata dal fatto che almeno una parte di dette regioni di connessione della matrice comprende un materiale elettrocromico.

I materiali elettrocromici sono materiali che possono essere colorati in modo reversibile per effetto del passaggio di una carica elettrica. L'elettrocromismo è un fenomeno per cui in taluni materiali per effetto di un processo elettrochimico



reversibile è possibile indurre variazioni di colore. Più precisamente, l'elettrocromismo può essere definito come un cambiamento ottico persistente, ma reversibile, indotto per via elettrochimica.

I materiali elettrocromici si prestano dunque a realizzare elementi la cui trasparenza può essere modificata reversibilmente, per effetto del passaggio di impulsi di corrente attraverso tali elementi, in un senso o nell'altro a seconda che occorra incrementarne o ridurne la trasparenza. Tale proprietà dei materiali elettrocromici consente, come apparirà più chiaramente nel seguito, di realizzare reti neurali con capacità di apprendimento.

L'invenzione riguarda inoltre un procedimento per il trattamento di informazioni, nel quale si prevede l'impiego di una rete neurale del tipo sopra definito.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione appariranno dalla descrizione dettagliata che segue, effettuata con riferimento ai disegni allegati, forniti a puro titolo di esempio non limitativo, nei quali:

la figura 1 è uno schema che illustra la struttura di una matrice secondo l'invenzione per una rete neurale

la figura 2 mostra la struttura circuitale di una regione di connessione fra elettrodi di riga ed elettrodi di colonna della matrice secondo la figura 1.

la figura 3 è uno schema circuitale esemplificativo di una sinapsi associata ad una regione di connessione fra elettrodi di riga ed elettrodi di colonna della matrice.

la figura 4 è una vista in prospettiva di una porzione della suddetta matrice, e

la figura 5 è una figura parziale, sezionata secondo la linea V-V della figura 4.

Descrizione dettagliata dell'invenzione

Con riferimento ai disegni, una rete neurale per il trattamento di informazioni secondo l'invenzione comprende un substrato di supporto 1 di materiale almeno parzialmente trasparente, ad esempio vetro.

Su una faccia di tale substrato è realizzata una struttura a matrice, complessivamente indicata con 2 nella figura 1.

Come apparirà più chiaramente dal seguito, la

rete neurale comprende inoltre dispositivi elettronici attivi interagenti con la matrice 2, convenientemente realizzati sull'altra faccia del substrato di supporto 1.

Nella realizzazione esemplificativa a cui si riferisce la figura 1, la struttura a matrice 2 comprende una pluralità di elettrodi di riga R_i ($i = 1, 2 \dots n$) ed una pluralità di coppie di elettrodi di colonna C_j^k ($j = 1, 2 \dots m$, m uguale o diverso da n ; $k = 1, 2$).

La matrice 2 della figura 1 presenta inoltre una pluralità di regioni ordinate di connessione A_{ij} , ciascuna delle quali interconnette una coppia di elettrodi di colonna con un elettrodo di riga.

Nella figura 2 è mostrato lo schema circuitale simbolico della generica regione di connessione A_{ij} : fra gli elettrodi di colonna C_j^1 e C_j^2 sono disposti due diodi in serie indicati con D_1 e D_2 .

In una areola indicata con a_{ij} della regione A_{ij} è depositato un elemento di materiale elettrocromico, indicato con ECM, ad esempio costituito da ossido di tungsteno WO_3 . Tale elemento è provvisto di due elettrodi E_1, E_2 , il primo dei quali è collegato all'anodo di D_1 e al catodo di D_2 , mentre il secondo è collegato

all'elettrodo di riga R_i .

La disposizione dei diodi D_1 e D_2 è tale da consentire il flusso di una corrente elettrica attraverso ECM in un senso, oppure nel senso contrario. Così se gli elettrodi di colonna C_j^1 e C_j^2 vengono collegati al polo positivo di una sorgente di tensione continua, mentre l'elettrodo di riga R_i viene collegato al polo negativo (o alla massa) una corrente fluisce attraverso C_j^2 , D_2 , ECM e l'elettrodo di riga R_i .

Se invece detti elettrodi di colonna vengono collegati al polo negativo della sorgente e l'elettrodo di riga R_i viene collegato al polo positivo, una corrente fluirà attraverso R_i , ECM, D_1 e C_j^1 , attraversando ECM in senso inverso al precedente.

Per le note proprietà dei materiali elettrocromici (si veda in proposito ad esempio l'articolo "Electrochromism and Electrochromic Devices", di B.Scrosati, Chimicaoggi, giugno 1989, pp.41-45) un impulso di corrente attraverso ECM nell'uno o nell'altro senso ha per effetto di incrementare ovvero ridurre (in modo persistente, ma reversibile) la trasparenza di detto elemento di materiale elettrocromico.



Sull'altra faccia del substrato di supporto 1 in regioni B_{ij} (figura 3) disposte in posizioni corrispondenti alle regioni A_{ij} di connessione della matrice 2 sono realizzati circuiti sinaptici, ad esempio secondo lo schema illustrato nella figura 3. Tale schema prevede un amplificatore differenziale analogico comprendente in modo per sé noto una coppia di transistori MOS di tipo p, indicati con M_1 e M_2 , ed una coppia di transistori MOS di tipo n, indicati con M_3 e M_4 . I "drain" di M_1 e M_2 sono destinati ad essere collegati al terminale positivo di una sorgente di tensione continua. Detti transistori hanno i rispettivi "gate" collegati fra loro, e al "drain" di M_3 .

I "source" di M_1 e M_2 sono connessi ai "drain" di M_3 e, rispettivamente, di M_4 . I "source" di M_3 e M_4 sono collegati al "drain" di un fototransistore MOS indicato con FM, il quale viene convenientemente realizzato in una areola b_{ij} affacciata (attraverso il substrato di supporto 1) all'areola a_{ij} in cui è realizzato l'elemento di materiale elettrocromico ECM. La disposizione è tale per cui FM è suscettibile di essere investito da una radiazione luminosa unicamente attraverso ECM ed il substrato di supporto 1. Ne risulta che, nel

funzionamento, l'intensità della radiazione luminosa incidente su FM dipende dalla trasparenza dell'associato ECM, la quale può peraltro essere modificata, ed in particolare ridotta od incrementata, facendo fluire attraverso ECM impulsi di corrente nell'uno oppure nell'altro senso, come si è descritto in precedenza.

Il coefficiente di peso che viene associato a FM risulta dunque modificabile "on line", per cui la rete neurale nel suo complesso risulta dotata di capacità di apprendimento.

Nelle figure 4 e 5 è mostrata un'illustrazione qualitativa di un modo di realizzazione della singola cella o regione di connessione A_{ij} della matrice Z.

Gli elettrodi di colonna sono convenientemente costituiti da metallo, ad esempio oro od alluminio, tungsteno, molibdeno, niobio, nichel (od altri ancora) o loro leghe. Sopra tali elettrodi di colonna, previa interposizione di strati di materiale isolante indicati con F, costituiti ad esempio da SiO_2 , viene depositato un elettrodo di riga R_i , in un sol pezzo con il quale viene integralmente realizzato anche l'elettrodo E_2 dell'elemento di materiale elettrocromico ECM.

L'elettrodo E_1 dell'elemento ECM è realizzato in due parti:

una prima parte, indicata con E'_1 è realizzata con un composto includente un elettrolita polimerico allo stato solido, quale un poli(etilen-ossido), ed un sale di un metallo alcalino, ad esempio $LiClO_4$ oppure $LiCF_3SO_3$; e

una seconda parte, indicata con E''_1 e costituita da un metallo alcalino, quale il litio o il sodio.

Sempre con riferimento alla figura 4, i diodi D_1 e D_2 sono realizzati mediante due giunzioni p-n, ad esempio in silicio.

Come appare dalla figura 5, sulla faccia inferiore del supporto trasparente 1 in corrispondenza dell'elemento di materiale elettrocromico ECM è realizzato il fototransistore FM dell'associato circuito sinaptico. Tale fototransistore è realizzato in modo per sé noto mediante la deposizione di uno strato di silicio amorfo 100, opportunamente drogato per realizzare le regioni di drain, source e gate. I terminali di gate, drain e source sono stati indicati con 101, 102 e 103 nella figura 5.

Naturalmente, fermo restando il principio del

trovato, le forme di attuazione e i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione.

Nella descrizione che precede, riferita ai disegni allegati, è stata illustrata una realizzazione in cui la matrice 2 comprende una pluralità di coppie di elettrodi di colonna. Tale realizzazione, come si è visto, consente di incrementare e ridurre selettivamente la trasparenza dei singoli elementi di materiale elettrocromico, per conferire alla rete neurale capacità di apprendimento.

Per applicazioni nelle quali si prevedesse una necessità od opportunità di capacità di apprendimento da parte della rete neurale tale per cui nel funzionamento occorra modificare la trasparenza degli elementi ECM sempre nello stesso senso, cioè sempre nel senso di incrementarne oppure sempre soltanto nel senso di ridurne la trasparenza, la matrice potrebbe essere realizzata con singoli elettrodi di colonna, e senza necessità di ricorrere ad elementi a conduzione monodirezio-

JACOBACCI - CASETTA & PERANI
S.p.A.



nale.

Infine, è ovvio che la definizione di righe e colonne nella descrizione che precede è puramente convenzionale, e non presuppone né il parallelismo fra gli elettrodi di riga o fra gli elettrodi di colonna, e non implica necessariamente che gli elettrodi di colonna siano ortogonali a quelli di riga.

RIVENDICAZIONI

1. Rete neurale per il trattamento di informazioni, comprendente dispositivi elettronici attivi a cui è associata una matrice (2) includente una pluralità di elettrodi di riga (R_i), una pluralità di elettrodi di colonna (C_j) ed una pluralità di regioni di connessione (A_{ij}) fra elettrodi di riga (R_i) ed elettrodi di colonna (C_j); caratterizzata dal fatto che almeno una parte di dette regioni di connessione (A_{ij}) della matrice (2) comprende un materiale elettrocromico (ECM).

2. Rete neurale secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette regioni di connessione (A_{ij}) collega fra loro un elettrodo di colonna (C_j) con un elettrodo di riga (R_i).

3. Rete neurale secondo la rivendicazione 1,

nale.

Infine, è ovvio che la definizione di righe e colonne nella descrizione che precede è puramente convenzionale, e non presuppone né il parallelismo fra gli elettrodi di riga o fra gli elettrodi di colonna, e non implica necessariamente che gli elettrodi di colonna siano ortogonali a quelli di riga.

RIVENDICAZIONI

1. Rete neurale per il trattamento di informazioni, comprendente dispositivi elettronici attivi a cui è associata una matrice (2) includente una pluralità di elettrodi di riga (R_i), una pluralità di elettrodi di colonna (C_j) ed una pluralità di regioni di connessione (A_{ij}) fra elettrodi di riga (R_i) ed elettrodi di colonna (C_j); caratterizzata dal fatto che almeno una parte di dette regioni di connessione (A_{ij}) della matrice (2) comprende un materiale elettrocromico (ECM).

2. Rete neurale secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette regioni di connessione (A_{ij}) collega fra loro un elettrodo di colonna (C_j) con un elettrodo di riga (R_i).

3. Rete neurale secondo la rivendicazione 1,

caratterizzata dal fatto che detta matrice (2) comprende una pluralità di coppie di elettrodi di colonna (C_j^1, C_j^2), e che dette regioni di connessione (A_{ij}) sono disposte ciascuna fra una di dette coppie di elettrodi di colonna (C_j^1, C_j^2) e uno di detti elettrodi di riga (R_i).

4. Rete neurale secondo la rivendicazione 3, caratterizzata dal fatto che ciascuna regione di connessione (A_{ij}) della matrice (2) comprende un elemento di materiale elettrocromico (ECM) disposto fra

un primo elettrodo (E_1) collegato a ciascuno degli elettrodi di colonna di una coppia di elettrodi di colonna (C_j^1, C_j^2) tramite un primo e rispettivamente un secondo elemento a conduzione unidirezionale (D_1, D_2), e

un secondo elettrodo (E_2) collegato ad un elettrodo di riga (R_i);

detti elementi a conduzione unidirezionale (D_1, D_2) essendo atti a consentire il flusso di una corrente in detto elemento di materiale elettrocromico (ECM) selettivamente dal primo (E_1) verso il secondo elettrodo (E_2) oppure dal secondo (E_2) al primo elettrodo (E_1) di detto elemento di materiale elettrocromico.

5. Rete neurale secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che ciascun elemento di materiale elettrocromico (ECM) comprende uno strato di un ossido metallico, e che il primo elettrodo dell'elemento di materiale elettrocromico (ECM) comprende

una prima porzione (E'_1) disposta a contatto con detto strato di ossido metallico e comprendente un complesso includente un elettrolita polimerico allo stato solido ed un sale di un metallo alcalino, ed

una seconda porzione (E''_1) collegata agli elettrodi di colonna ed includente un metallo alcalino.

6. Rete neurale secondo la rivendicazione 5, caratterizzata dal fatto che ciascun elemento di materiale elettrocromico (ECM) comprende uno strato di WO_3 .

7. Rete neurale secondo la rivendicazione 5, caratterizzata dal fatto che la suddetta prima porzione (E'_1) di detto primo elettrodo (E_1) dell'elemento di materiale elettrocromico (ECM) comprende un complesso di poli(etilen-ossido) e un sale di litio.

8. Rete neurale secondo la rivendicazione 7,

caratterizzata dal fatto che detta seconda porzione (E''_1) del primo elettrodo (E_1) dell'elemento di materiale elettrocromico (ECM) è costituita di litio.

9. Rete neurale secondo le rivendicazioni 7 ed 8, caratterizzata dal fatto che il suddetto sale di un metallo alcalino è $LiClO_4$ oppure $LiCF_3SO_3$.

10. Rete neurale secondo una delle rivendicazioni 3 e seguenti, caratterizzata dal fatto che ciascuno di detti elementi a conduzione unidirezionale (D_1 , D_2) comprende una giunzione p-n a semiconduttore.

11. Rete neurale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta matrice (2) è realizzata su una faccia di un supporto (1) almeno parzialmente trasparente.

12. Rete neurale secondo la rivendicazione 11, caratterizzata dal fatto che detto supporto (1) è di vetro.

13. Rete neurale secondo una delle rivendicazioni precedenti, includente dispositivi elettronici attivi (FM , M_1-M_4) interagenti con detta matrice (2), caratterizzata dal fatto che detti dispositivi elettronici attivi comprendono una pluralità di fototransistori (FM) almeno alcuni dei quali sono associati ognuno ad una di dette regioni di



connessione (A_{ij}) della matrice (2), in modo tale per cui ogni fototransistore (FM) è suscettibile di ricevere una radiazione luminosa attraverso il materiale elettrocromico (ECM) della associata regione di connessione (A_{ij}) di detta matrice (2).

14. Rete neurale secondo la rivendicazione 13, caratterizzata dal fatto che ciascun fototransistore (FM) associato ad una regione di connessione (A_{ij}) della matrice (2) è realizzato su una prima faccia di un supporto planare (1) di materiale almeno parzialmente trasparente, e l'elemento di materiale elettrocromico (ECM) dell'associata regione di connessione (A_{ij}) della matrice (2) è realizzata sull'altra faccia di detto supporto (1).

15. Rete neurale secondo la rivendicazione 13 o 14, caratterizzata dal fatto che detti fototransistori (FM) sono di tipo MOSFET.

16. Procedimento per il trattamento di informazioni, comprendente le operazioni di

introdurre dette informazioni in una rete neurale comprendente una matrice (2) includente una pluralità di elettrodi di riga (R_i), una pluralità di elettrodi di colonna (C_j) ed una pluralità di regioni ordinate di connessione (A_{ij}) fra elettrodi di riga (R_i) ed elettrodi di colonna (C_j);

caratterizzato dal fatto che almeno una parte di dette regioni di connessione (A_{ij}) comprende un materiale elettrocromico (ECM) e che detto trattamento delle informazioni viene influenzato facendo incidere una radiazione luminosa sulla porzione di materiale elettrocromico (ECM) di almeno una di dette regioni di connessione (A_{ij}) di detta matrice (2).

17. Procedimento secondo la rivendicazione 16, caratterizzato dal fatto che detto trattamento delle informazioni viene influenzato facendo passare una corrente elettrica in almeno una direzione attraverso detta porzione di materiale elettrocromico (ECM).

Il tutto sostanzialmente come descritto ed illustrato, e per gli scopi specificati.

PER INCARICO

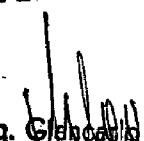
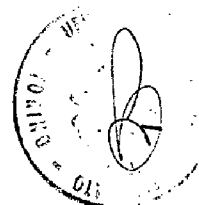
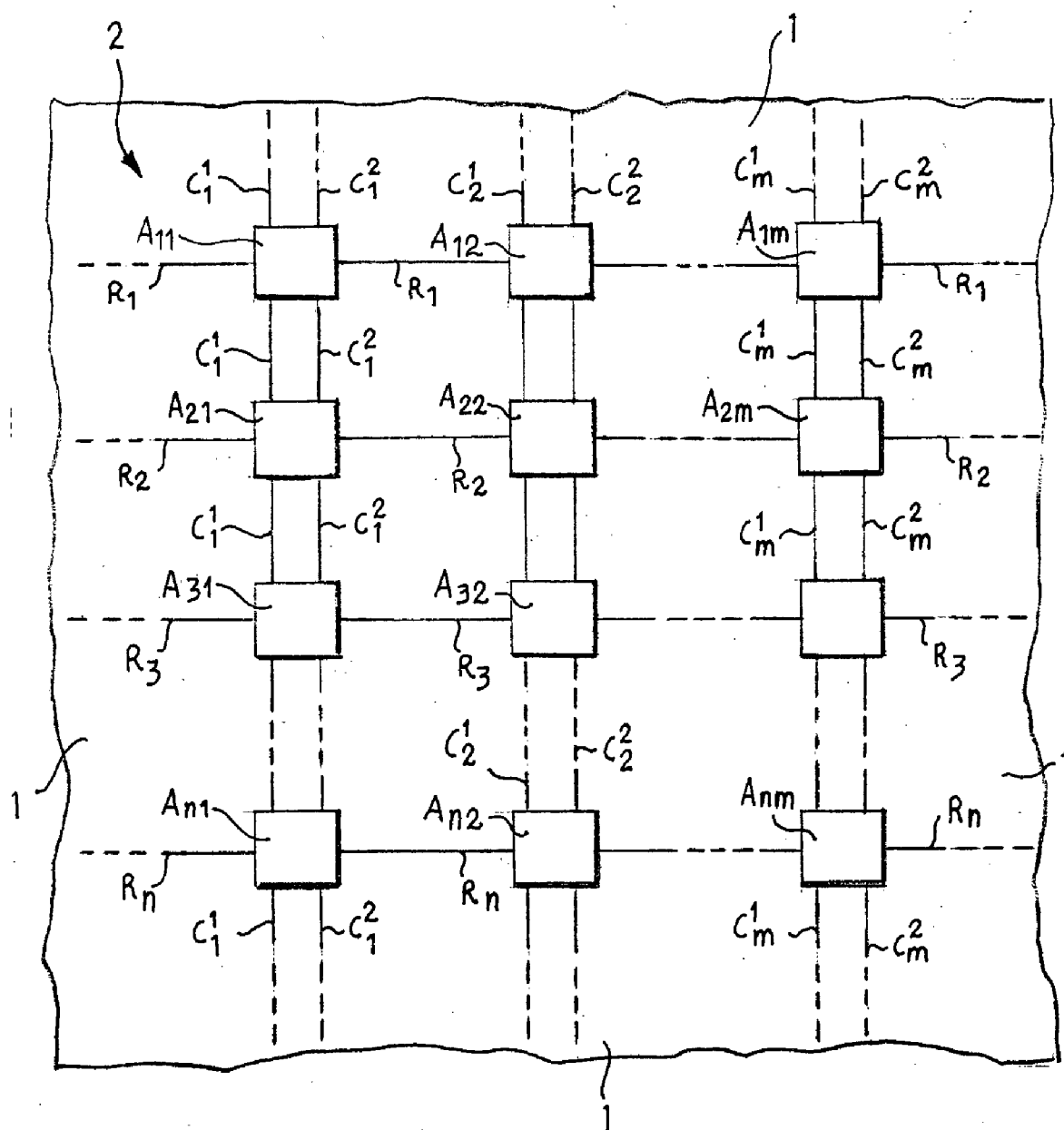

Ing. Giordano NOTARO
N. Iscriz. ALBO 258
(In proprio e per gli altri)



FIG. 1



Ing. Giancarlo NOTARO

N. Iscr. Albo 1258
(In proprio e per gli altri)

43

Per incarico di : ENIRICERCHE S.p.A.

ENIRICERCHE

FIG. 2

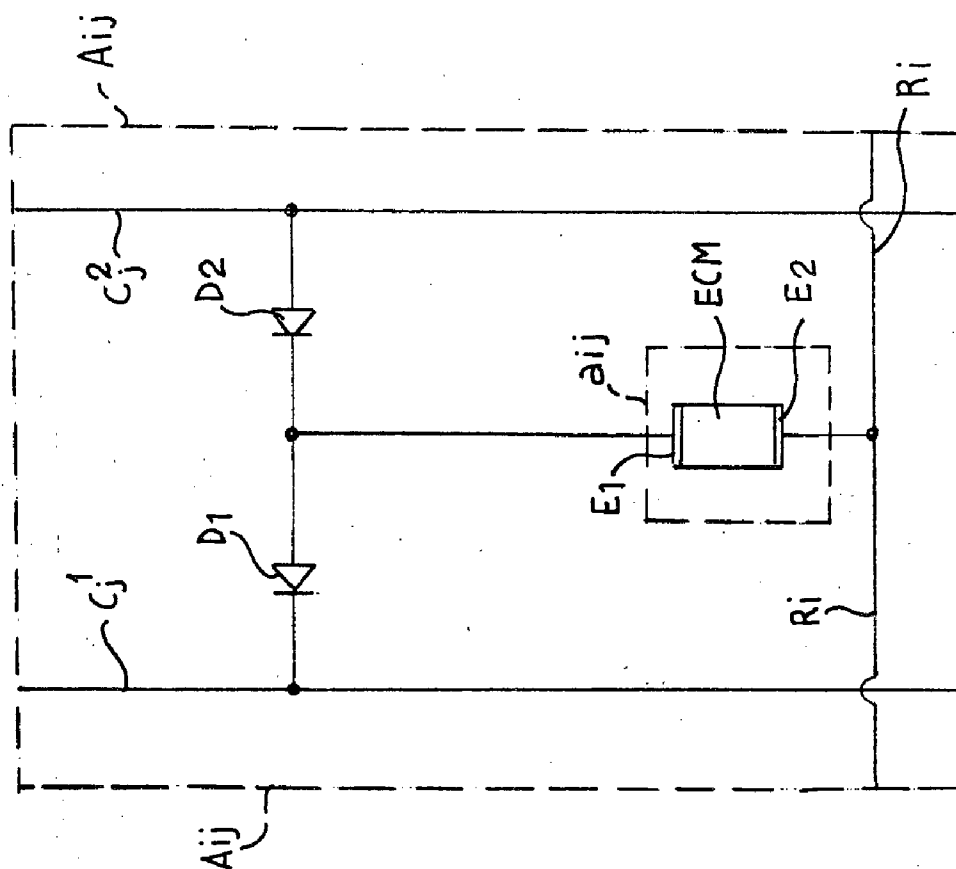
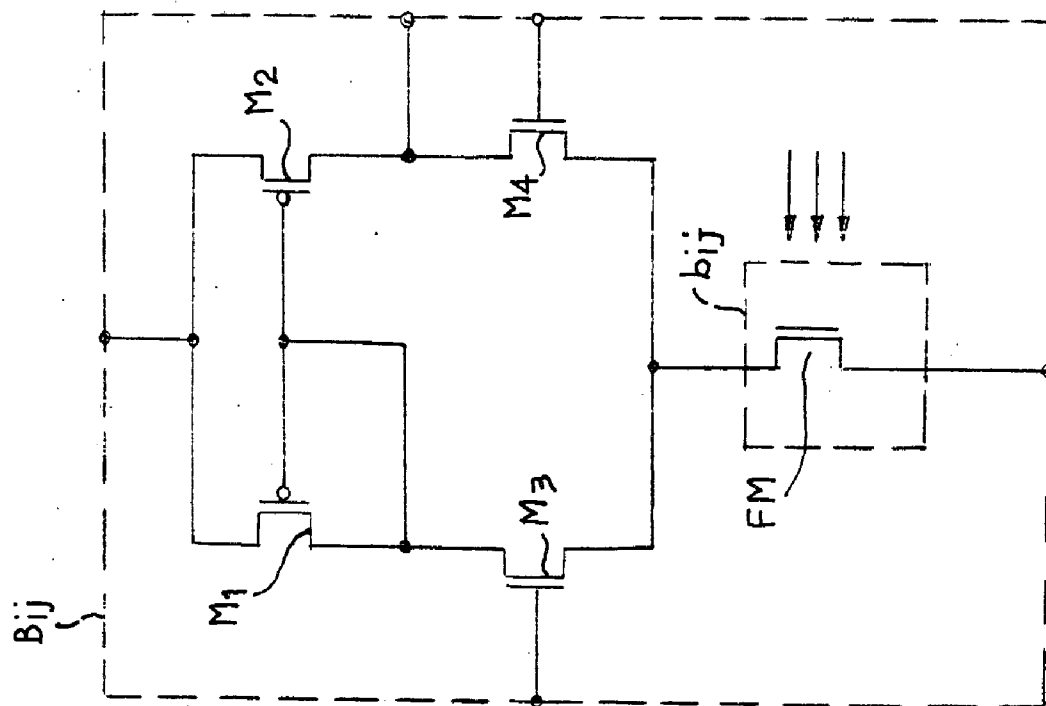


FIG. 3



Per incarico di : ENIRICERCHE S.p.A.

Ing. Glencor NOTARO
N. Iscrizione 8
(in proprio e per gli altri)

2/3

ENIRICERCHE

FIG. 4

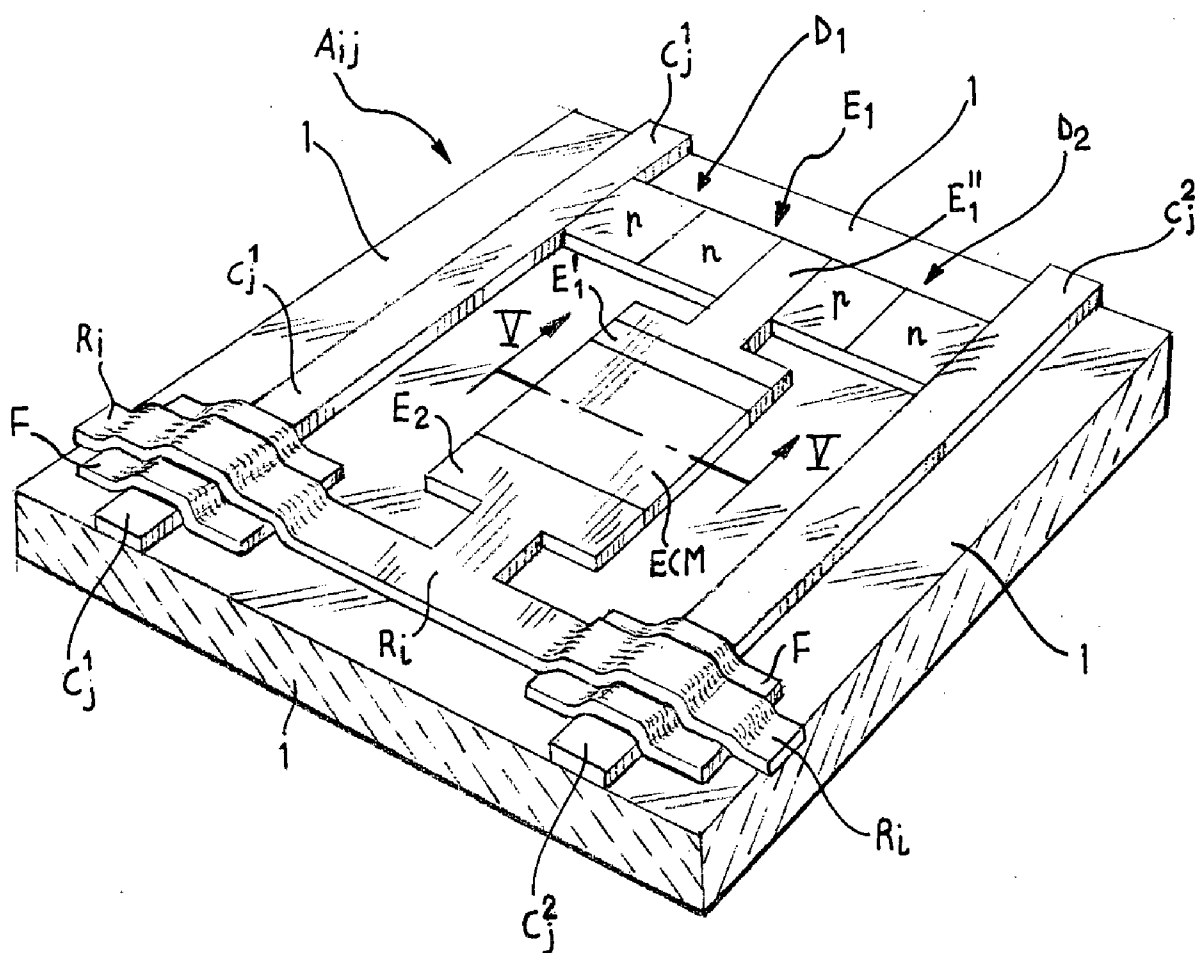
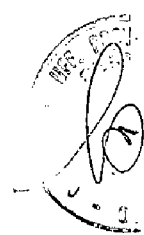
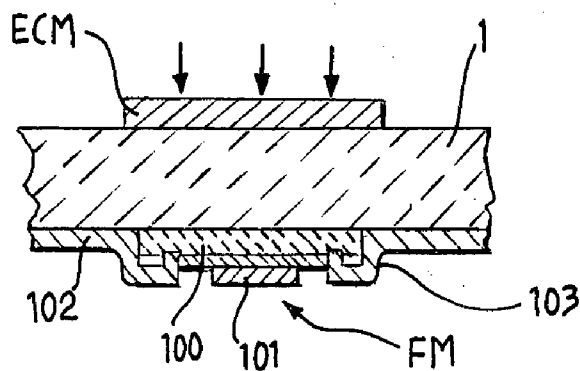


FIG. 5



Per incarico di : ENIRICERCHE S.p.A.

Ing. Giancarlo NOTARO
N. Iscrizione ALBO
(in proprio e per gli altri)

3/3

ENIRICERCHE