



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

DOMANDA NUMERO	102007901483582
Data Deposito	12/01/2007
Data Pubblicazione	12/07/2008

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	11	B		

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	11	B		

Titolo

METODO E DISPOSITIVO DI LETTURA NON-DISTRUTTIVA PER UN SUPPORTO DI
MEMORIZZAZIONE DI MATERIALE FERROELETTRICO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale
di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana,

5 con sede in VIA C. OLIVETTI, 2

20041 AGRATE BRIANZA (MI)

Inventori: ZUFFADA Maurizio, FEDELI Michele, ALBASINI
Guido Gabriele, ROSSI Matteo

*** **** **

10 La presente invenzione è relativa ad un metodo e
ad un dispositivo di lettura non-distruttiva per un
supporto di memorizzazione di materiale
ferroelettrico.

Come noto, nel campo dei sistemi di
15 memorizzazione è sentita l'esigenza di raggiungere
elevate capacità di immagazzinamento con alti tassi
di trasferimento dati (bit rate), al contempo
riducendo i costi di fabbricazione e l'occupazione di
area. I sistemi di memorizzazione attualmente più
20 utilizzati, vale a dire gli hard disk drive (con
dimensioni miniaturizzate) e le memorie flash RAM,
presentano intrinseci limiti tecnologici per quanto
riguarda l'incremento della capacità di
immagazzinamento dati e della velocità di
25 lettura/scrittura, e la diminuzione delle loro

dimensioni. Ad esempio, nel caso degli hard disk, il "limite superparamagnetico" ostacola la riduzione delle dimensioni dei domini di memorizzazione magnetici al di sotto di una soglia critica, pena la perdita delle informazioni immagazzinate.

Tra le soluzioni innovative proposte, sono molto promettenti i sistemi di memorizzazione utilizzando un supporto di memorizzazione (noto come "storage medium" o "storage media") di materiale ferroelettrico, in cui la lettura/scrittura di singoli bit viene effettuata interagendo con i domini ferroelettrici del materiale ferroelettrico.

Come noto, un materiale ferroelettrico possiede una polarizzazione spontanea, che può essere invertita da un campo elettrico applicato; come mostrato in figura 1, tale materiale presenta inoltre un ciclo di isteresi nel diagramma della carica di polarizzazione Q (o, in maniera equivalente, della polarizzazione P) nei confronti della tensione V applicata, sfruttando il quale è possibile immagazzinare le informazioni sotto forma di bit. In particolare, in assenza di una tensione di polarizzazione impartita al supporto ($V=0$), esistono due punti del diagramma allo stato stabile (indicati con "b" ed "e") aventi polarizzazione differente, in

particolare uguale e contraria; tali punti possono rimanere nello stato stabile anche per alcuni anni, mantenendo così il dato binario memorizzato (ad esempio il punto "b", con carica positiva $+Q_H$,
5 corrisponde ad uno "0", mentre il punto "e", con carica negativa $-Q_H$, corrisponde ad un "1").

Le operazioni di scrittura prevedono l'applicazione al supporto di materiale ferroelettrico di una tensione, positiva o negativa,
10 maggiore di una tensione coercitiva V_c caratteristica del materiale ferroelettrico; in tal caso, viene immagazzinata nel materiale una carica positiva $+Q_H$, o negativa $-Q_H$ (ciò corrisponde in sostanza ad uno spostamento lungo il diagramma dal punto "e" al punto
15 "b" passando per il punto "a", oppure dal punto "b" al punto "e" passando per il punto "d"). Una tensione con un valore assoluto minore della tensione coercitiva V_c non provoca invece una variazione stabile della carica immagazzinata.

20 Le tecniche di lettura dei dati comunemente impiegate si basano su un'operazione distruttiva, che prevede la cancellazione dei dati letti. In sintesi, una tensione (positiva o negativa) con ampiezza maggiore della tensione coercitiva V_c viene applicata
25 al materiale ferroelettrico, eseguendo in pratica

un'operazione di scrittura, e viene rilevata l'occorrenza o meno di un'inversione di polarità dello stesso materiale ferroelettrico. A tal fine, viene rilevata l'esistenza o meno di una corrente apprezzabile che scorre nel materiale ferroelettrico. Chiaramente, l'applicazione di una tensione positiva (o negativa) causa l'inversione dei soli domini ferroelettrici in cui è stata precedentemente immagazzinata una carica negativa $-Q_H$ (o positiva $+Q_H$).

Il problema principale di tale tecnica di lettura è legato al fatto che le operazioni di lettura sono distruttive, cioè implicano la rimozione delle informazioni precedentemente memorizzate e quindi l'impossibilità di effettuare letture successive degli stessi dati, senza che sia stata precedentemente effettuata una riscrittura dei dati letti. Infatti, la lettura di una porzione della memoria corrisponde alla scrittura in tale porzione di memoria di una sequenza di cariche tutte positive (o tutte negative, nel caso si utilizzi una tensione di lettura negativa). Di conseguenza, durante la lettura il flusso dei dati letti deve essere memorizzato in un buffer di memoria, e successivamente è necessaria un'operazione di

scrittura per ripristinare l'informazione originaria.

Tale tecnica di lettura comporta un notevole dispendio di tempo e di potenza, e costituisce in sostanza un "collo di bottiglia" per gli attuali
5 sistemi di memorizzazione ferroelettrici, in particolare per quanto riguarda il tasso di trasferimento dei dati.

Per ovviare a tale problema sono state proposte alcune tecniche di lettura non distruttive dei dati
10 memorizzati.

Ad esempio in Cho et al., "Terabit inch⁻² ferroelectric data storage using scanning nonlinear dielectric microscopy nanodomain engineering system", Nanotechnology N.14, 2003, 637-642, Institute of
15 Physics Publishing, viene applicato un segnale sinusoidale ad un elettrodo ad anello, il quale induce un'oscillazione in un circuito risonante che include il supporto di materiale ferroelettrico in cui è memorizzato il bit di informazione. Un
20 demodulatore rileva le armoniche dell'oscillazione indotta, le cui fasi sono correlate al bit di informazione memorizzato, a causa del differente comportamento delle costanti dielettriche non lineari di ordine elevato del materiale ferroelettrico nei
25 punti stabili del diagramma della polarizzazione.

In Kato et al., "0.18- μ m nondestructive readout FeRAM using charge compensation technique", IEEE Transactions on electron devices, Vol. 52 N. 12, Dicembre 2005, viene descritto un circuito di lettura
5 che prevede il collegamento in serie di un condensatore ferroelettrico (costituito dal supporto di memorizzazione) al terminale di gate di un transistor MOS di lettura. Applicando un impulso di lettura, la carica immagazzinata nel condensatore
10 polarizza il terminale di gate del transistor MOS, in modo differente a seconda dello stato di polarizzazione precedentemente memorizzato, variandone così la conducibilità del canale di conduzione. Successivamente, il dato memorizzato
15 viene letto rilevando la corrente che scorre tra i terminali di conduzione corrente dello stesso transistor, in modo statico, mediante un amplificatore di "sense" ("sense amplifier").

Le suddette tecniche di lettura, pur avendo il
20 vantaggio di non essere distruttive e di non richiedere dunque una riscrittura dei dati letti, non sono del tutto soddisfacenti per quanto riguarda la complessità realizzativa ed il loro funzionamento.

Scopo della presente invenzione è quello di
25 fornire un metodo di lettura non distruttivo per un

supporto di memorizzazione ferroelettrico, che consenta di superare i succitati problemi e svantaggi.

5 Secondo la presente invenzione vengono pertanto forniti un metodo ed un dispositivo di lettura per un supporto di memorizzazione ferroelettrico, come definiti rispettivamente nelle rivendicazioni 1 e 12.

10 Per una migliore comprensione della presente invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

15 - la figura 1 mostra un diagramma relativo ad un ciclo di isteresi di un materiale ferroelettrico di un supporto di memorizzazione;

- la figura 2 mostra uno schema a blocchi circuitale semplificato di un dispositivo di lettura, secondo un aspetto della presente invenzione;

20 - la figura 3 mostra una prima implementazione circuitale del dispositivo di lettura;

- la figura 4 mostra l'andamento di alcune grandezze elettriche nel circuito di figura 3;

- la figura 5 mostra una seconda implementazione circuitale del dispositivo di lettura;

25 - le figure 6 e 7 mostrano l'andamento di alcune

grandezze elettriche nel circuito di figura 5; e

- la figura 8 è una rappresentazione schematica di un sistema di memorizzazione ferroelettrico, comprendente il dispositivo di lettura di figura 2.

5 Un aspetto della presente invenzione prevede di implementare una lettura non-distruttiva dei dati memorizzati, basata sul comportamento asimmetrico del materiale ferroelettrico intorno ai due suoi stati stabili (punti "b" ed "e" del diagramma di figura 1).
10 In sintesi, e come sarà spiegato in dettaglio nel seguito, si propone di applicare al materiale ferroelettrico un segnale di lettura a bassa tensione (con ampiezza molto minore della tensione coercitiva V_c), e di determinare la variazione di carica (o, in
15 maniera equivalente, di polarizzazione) che si verifica nel materiale ferroelettrico in condizione dinamica, durante l'applicazione del segnale di lettura. La variazione di carica nel materiale differisce a seconda del dato memorizzato (e quindi
20 dello stato stabile precedentemente raggiunto dal materiale), in quanto differisce l'andamento del diagramma di isteresi nei dintorni dello stesso stato stabile. Come evidente in figura 1, la pendenza del diagramma di isteresi intorno ai due stati stabili è
25 differente, ed in particolare: per tensioni di

lettura negative è maggiore per una polarizzazione di partenza positiva $+Q_H$ rispetto alla polarizzazione negativa $-Q_H$ (e pertanto causa una maggiore variazione di carica), mentre per tensioni di lettura positive è maggiore per una polarizzazione di partenza negativa $-Q_H$ rispetto alla polarizzazione positiva $+Q_H$. Dall'entità della variazione di carica (come detto, differente a seconda della polarizzazione di partenza del materiale ferroelettrico) è dunque possibile risalire al dato memorizzato, senza che l'operazione di lettura ne provochi la cancellazione.

La figura 2 mostra un dispositivo di lettura 1 che implementa tale tecnica di lettura non-distruttiva; un condensatore ferroelettrico 2 rappresenta il materiale di memorizzazione ferroelettrico, e presenta un primo terminale 2a, collegato ad un potenziale di riferimento (ad esempio alla massa del circuito), ed un secondo terminale 2b.

In dettaglio, il dispositivo di lettura 1 comprende: un generatore di tensione 3 atto ad essere collegato al secondo terminale 2b del condensatore ferroelettrico 2, ed a generare un segnale di lettura V_r ; uno stadio di elaborazione 4 collegato al secondo terminale 2b del condensatore ferroelettrico 2, ed

atto a rilevare ed elaborare una variazione di carica ΔQ che si verifica nel materiale ferroelettrico in conseguenza dell'applicazione del segnale di lettura V_r , e a generare un segnale di uscita (ad esempio un
5 segnale di tensione di uscita V_{out}) in funzione di tale variazione di carica ΔQ ; ed uno stadio di analisi 5, collegato all'uscita dello stadio di elaborazione 4, ed atto a determinare il valore del dato letto sulla base della suddetta variazione di
10 carica ΔQ , ed in particolare del valore del segnale di uscita V_{out} (ad esempio mediante una comparazione con prefissati valori di soglia).

In una prima forma di realizzazione, mostrata in figura 3, lo stadio di elaborazione 4 comprende un
15 amplificatore di transimpedenza (TIA - TransImpedance Amplifier) per il rilevamento della variazione di carica ΔQ , e pertanto: un amplificatore operazionale 6 avente terminale non invertente collegato al generatore di tensione 3 e ricevente il segnale di
20 lettura V_r , terminale invertente collegato al secondo terminale 2b del condensatore ferroelettrico 2, e terminale di uscita fornente il segnale di uscita V_{out} ; ed un resistore 7 collegato in retroazione tra il terminale di uscita ed il terminale invertente
25 dell'amplificatore operazionale 6. In modo noto, la

retroazione dell'amplificatore operazionale 6 imposta la tensione di lettura V_r anche sul secondo terminale 2b (per il noto principio del corto circuito virtuale); l'amplificatore di transimpedenza riceve
5 in ingresso una carica differenziale (dunque una corrente), e fornisce in uscita una tensione in funzione della variazione di carica.

Il principio operativo della tecnica di lettura proposta viene illustrato con riferimento alla figura
10 4, in cui, per chiarezza illustrativa, il ciclo di isteresi del materiale ferroelettrico viene semplificato e modellato come una serie di linee rette (in modo da evidenziare visivamente la differenza di pendenza intorno ai due stati stabili).

15 A causa dell'applicazione del segnale di lettura V_r , ad esempio positivo di tipo triangolare (ed in ogni caso minore della tensione coercitiva V_c del materiale ferroelettrico), la polarizzazione si sposta lungo il ciclo di isteresi principale: nel
20 caso in cui il materiale presenti una polarizzazione di partenza negativa $-Q_H$, si verifica una variazione della carica immagazzinata nel materiale ferroelettrico, che si traduce in una variazione del segnale di uscita V_{out} ; al contrario, nel caso in cui
25 il materiale presenti una polarizzazione di partenza

positiva $+Q_H$, non si verifica idealmente una
variazione apprezzabile della carica immagazzinata, e
di conseguenza del segnale di uscita V_{out} . Essendo la
tensione di lettura V_r minore della tensione
5 coercitiva V_c , la polarizzazione ritorna nello stato
stabile di partenza successivamente all'applicazione
dell'impulso di lettura. In particolare, data la
natura dell'amplificatore di transimpedenza, il
segnale di uscita V_{out} in risposta al segnale di
10 ingresso triangolare è un'onda quadra costituita
dalla successione di un gradino positivo e di un
gradino negativo, con durata totale pari all'impulso
di lettura. Nel caso in cui si applichi un impulso di
lettura negativo, si ottiene un risultato
15 complementare a quello precedentemente descritto, con
un segnale di uscita V_{out} non nullo partendo da una
polarizzazione positiva $+Q_H$, ed un segnale di uscita
idealmente nullo partendo da una polarizzazione
negativa $-Q_H$.

20 Si sottolinea che, anche considerando un reale
ciclo di isteresi, a causa delle differenti pendenze
del diagramma della polarizzazione a seconda dello
stato stabile di partenza, una tensione di lettura
positiva causerà in ogni caso una variazione di
25 carica significativamente maggiore nel caso in cui si

parta da uno stato stabile a polarizzazione negativa rispetto al caso in cui si parta invece da uno stato stabile a polarizzazione positiva, e viceversa per una tensione di lettura negativa.

5 Eventualmente, per consentire una migliore analisi del segnale di uscita V_{out} , lo stadio di analisi 5 può eseguire una correlazione tra lo stesso segnale di uscita ed il segnale di lettura V_r , in modo da ottenere un'uscita con valor medio non-nullo
10 (nuovamente solo per uno dei due stati stabili, l'altro originando un segnale idealmente nullo); ad esempio, può essere utilizzato allo scopo un circuito rettificatore, o moltiplicatore.

 In una seconda forma di realizzazione, mostrata
15 in figura 5, lo stadio di elaborazione 4 comprende un amplificatore di carica (CSA - Charge Sensing Amplifier), e pertanto: un amplificatore operazionale (nuovamente indicato con 6) avente terminale non
20 invertente collegato al generatore di tensione 3 e ricevente il segnale di lettura V_r , terminale invertente collegato al secondo terminale 2b del condensatore ferroelettrico 2, e terminale di uscita fornente il segnale di tensione di uscita V_{out} ; un
25 primo condensatore 9 collegato tra il secondo terminale 2b del condensatore ferroelettrico 2 ed il

potenziale di riferimento, e rappresentante le
capacità parassite collegate al secondo terminale
stesso; ed un secondo condensatore 10 collegato in
retroazione tra il terminale di uscita ed il
5 terminale invertente dell'amplificatore operativo
6. In modo noto, l'amplificatore di carica fornisce
in uscita una tensione funzione della quantità di
carica che riceve in ingresso.

La figura 6 mostra l'andamento delle grandezze
10 elettriche nel dispositivo di lettura, nel caso in
cui si utilizzi un amplificatore di carica.
Nuovamente, applicando un impulso di lettura
positivo, si ha in uscita un segnale apprezzabile
solamente nel caso in cui il materiale ferroelettrico
15 presenti una polarizzazione negativa di partenza. In
particolare, in questo caso, il segnale di uscita V_{out}
presenta una forma triangolare, corrispondente a
quella del segnale di lettura.

Come ulteriore esempio, la figura 7 mostra il
20 segnale di uscita V_{out} in risposta ad uno stimolo di
lettura ad onda quadra, sempre utilizzando
l'amplificatore di carica per il rilevamento della
variazione di polarizzazione, nei due casi di
polarizzazione di partenza positiva o negativa.

25 I vantaggi del dispositivo e del metodo di

lettura secondo l'invenzione emergono in maniera evidente dalla descrizione precedente.

In ogni modo, si sottolinea nuovamente il fatto che l'operazione di lettura descritta non è distruttiva, in quanto si basa sull'applicazione di impulsi di lettura con ampiezza minore della tensione coercitiva del materiale ferroelettrico, per cui la polarizzazione del materiale ritorna nello stato stabile di partenza una volta terminata l'operazione di lettura dei dati. Dato che l'operazione di lettura non provoca la cancellazione dei dati memorizzati, non è necessaria la presenza di un buffer di ritenzione dati e la riscrittura dei dati letti.

Rispetto ad altre soluzioni non distruttive, la tecnica di lettura descritta presenta una ridotta complessità circuitale. In particolare, essa non richiede la realizzazione di una complessa circuiteria dedicata, potendo sfruttare circuiti già presenti nei sistemi di memorizzazione, con ovvi vantaggi in termini dei costi e del processo di fabbricazione.

Prove eseguite dalla richiedente hanno dimostrato che l'utilizzo di un amplificatore di carica nello stadio di elaborazione 4 garantisce un migliore rapporto segnale/rumore rispetto ad altre

soluzioni circuitali, e pertanto assicura una maggiore affidabilità delle operazioni di lettura.

Il dispositivo ed il metodo descritti risultano particolarmente vantaggiosi per sistemi di memorizzazione cosiddetti "probe storage" (detti anche sistemi di memorizzazione a livello atomico - "atomic storage"). Tali sistemi consentono infatti di raggiungere elevate capacità di immagazzinamento dati in ridotte dimensioni e con bassi costi di fabbricazione.

A titolo esemplificativo, figura 8, un sistema di memorizzazione "probe storage" 11 comprende una matrice bidimensionale di strutture di interazione (o sonde) 12 fissate ad un substrato comune 13, ad esempio di silicio, in cui è realizzata un'elettronica di controllo (comprendente in particolare il dispositivo di lettura 1), realizzata ad esempio in tecnologia CMOS. La matrice è disposta al di sopra di un supporto di memorizzazione 14 di materiale ferroelettrico, ed è mobile in modo relativo rispetto a tale supporto di memorizzazione, generalmente in una prima ed in una seconda direzione x, y tra loro ortogonali, per l'azione di un micromotore ad essa associato. Ciascuna struttura di interazione 12 comprende un elemento portante 15 di

materiale semiconduttore, in particolare silicio (generalmente noto come "cantilever" o "cantilever beam"), sospeso a sbalzo al di sopra del supporto di memorizzazione 14, e libero di essere movimentato in
5 una terza direzione z, ortogonale alla prima ed alla seconda direzione x, y in modo da avvicinarsi al supporto di memorizzazione 14; ed un elemento di interazione 16 (definito anche sensore o elemento di contatto), di materiale conduttivo, portato
10 dall'elemento portante 15 in corrispondenza di una sua estremità libera, e rivolto verso il supporto di memorizzazione 14 (intendendo con il termine "interazione" una qualsiasi operazione di lettura, scrittura o cancellazione di un singolo o più bit di
15 informazione, che implichi uno scambio di segnali tra la struttura di interazione 12 ed il supporto di memorizzazione 14). Tramite il rispettivo elemento di interazione 16, avente dimensioni nanometriche, ciascuna struttura di interazione 12 è in grado di
20 interagire localmente a livello atomico con una porzione del supporto di memorizzazione 14, per scrivere, leggere, o cancellare bit di informazione.

In dettaglio, durante l'operazione di lettura, un elettrodo 18 posto inferiormente a contatto del
25 supporto di memorizzazione 14 viene posto ad un

potenziale di riferimento (costituendo in tal modo il primo terminale 2a del condensatore ferroelettrico 2), ed all'elemento di interazione 6 (che costituisce invece il secondo terminale 2b dello stesso condensatore ferroelettrico 2) viene applicata la tensione di lettura V_r . La variazione di carica nel materiale ferroelettrico viene quindi rilevata ed analizzata dal dispositivo di lettura 1, vantaggiosamente integrato nel substrato 13, per la determinazione dei bit letti, secondo la tecnica non-distruttiva descritta precedentemente.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, sebbene la descrizione precedente abbia fatto riferimento al caso in cui il materiale ferroelettrico non presenta un'isteresi intorno ai due stati stabili, così che la polarizzazione si sposta sempre lungo l'anello di isteresi primario definito dalla precedente operazione di polarizzazione, la tecnica descritta può essere applicata anche per un materiale ferroelettrico che presenti mini-cicli di isteresi

intorno a tali punti stabili. Infatti, anche in questo caso, è possibile rilevare il dato memorizzato sfruttando le differenti pendenze (asimmetriche) del diagramma di polarizzazione intorno ai punti stabili.

5 In alternativa, si può evitare la formazione dei suddetti mini-cicli di isteresi, applicando uno stimolo di lettura di valore ridotto e tale da costringere l'andamento della polarizzazione a seguire il ciclo di isteresi primario, o uno stimolo
10 di lettura avente una frequenza che sia maggiore delle capacità di polarizzazione del supporto (ad esempio dell'ordine del kHz o del MHz).

È evidente che nel dispositivo di lettura 1 possono essere utilizzate altre configurazioni
15 circuitali che siano in grado di rilevare ed amplificare la variazione di carica (o di polarizzazione) generata dal segnale di lettura nel materiale ferroelettrico, in funzione anche della tipologia del segnale di lettura e del rapporto
20 segnale/rumore desiderato. Ad esempio, potrebbe essere utilizzato un amplificatore di carica ad ingressi differenziali, oppure introdotti più o meno complessi blocchi di filtraggio del segnale di uscita V_{out} , per agevolare l'operazione di analisi del
25 segnale di uscita stesso.

Il segnale di lettura V_r può avere altre forme d'onda, ad esempio essere sinusoidale, ad onda quadra, ed avere eventualmente una tensione alternata; tale segnale di lettura può inoltre essere
5 impulsivo o periodico ed avere differenti ampiezze a seconda della tipologia di materiale ferroelettrico (comunque sempre minori della tensione coercitiva del materiale stesso).

Infine, è evidente che la tecnica di lettura
10 non-distruttiva descritta può essere vantaggiosamente applicata in differenti sistemi di memorizzazione basati su materiale ferroelettrico, ad esempio in memorie FeRAM (Ferroelectric RAM) comprendenti una pluralità di celle di memoria includenti materiale
15 ferroelettrico.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo di lettura non-distruttiva di un dato memorizzato in un materiale ferroelettrico (14) in uno stato stabile di polarizzazione, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- applicare una grandezza elettrica di lettura (V_r) a detto materiale ferroelettrico (14), di valore tale da non causarne una variazione di stato stabile di polarizzazione;

- generare una grandezza di uscita (V_{out}) indicativa di una variazione di carica di polarizzazione (ΔQ) che si verifica in detto materiale ferroelettrico (14) durante l'applicazione di detta grandezza elettrica di lettura (V_r); e

- determinare il valore di detto dato memorizzato, sulla base di detta grandezza di uscita (V_{out}).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta grandezza elettrica di lettura è una tensione di lettura (V_r) avente un'ampiezza minore di una tensione coercitiva (V_c) di detto materiale ferroelettrico.

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ) è data da una differenza tra un primo valore assunto

dalla carica di polarizzazione (Q) in detto stato stabile di detto materiale ferroelettrico, ed un secondo valore assunto da detta carica di polarizzazione (Q) durante l'applicazione di detta grandezza elettrica di lettura (V_r).

4. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui generare detta grandezza di uscita (V_{out}) comprende generare una prima grandezza di uscita indicativa di una prima variazione di carica di polarizzazione, nel caso in cui detto dato memorizzato in detto materiale ferroelettrico presenta un primo valore, e generare una seconda grandezza di uscita indicativa di una seconda variazione di carica di polarizzazione, nel caso in cui detto dato memorizzato in detto materiale ferroelettrico presenta un secondo valore; dette prima e seconda variazione di carica di polarizzazione presentando valori differenti in funzione di una differente pendenza nell'andamento di un ciclo di isteresi di detto materiale ferroelettrico a partire da detto stato stabile di polarizzazione corrispondente al dato memorizzato.

5. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta grandezza di uscita (V_{out}) è una tensione elettrica, e generare

detta grandezza di uscita (V_{out}) comprende rilevare ed elaborare detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ) mediante un amplificatore di transimpedenza (4).

5 6. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta grandezza di uscita (V_{out}) è una tensione elettrica, e generare detta grandezza di uscita (V_{out}) comprende rilevare ed elaborare detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ) mediante un amplificatore di
10 carica (4).

7. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui determinare il valore di detto dato memorizzato comprende eseguire
15 una correlazione tra detta grandezza di uscita (V_{out}) e detta grandezza elettrica di lettura (V_r).

8. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta grandezza elettrica di lettura (V_r) presenta un andamento
20 triangolare, sinusoidale o ad onda quadra.

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui detta grandezza elettrica di lettura (V_r) presenta un andamento impulsivo, o periodico.

10. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta grandezza
25

elettrica di lettura è una tensione di lettura (V_r)
avente valore tale da non generare in detto materiale
ferroelettrico un mini-ciclo di isteresi intorno a
detto stato stabile di polarizzazione.

5 11. Metodo secondo la rivendicazione 10, in cui
detta tensione di lettura (V_r) presenta una frequenza
maggiore di una capacità di polarizzazione di detto
materiale ferroelettrico.

10 12. Dispositivo (1) di lettura non-distruttiva
di un dato memorizzato in un materiale ferroelettrico
(14) in uno stato stabile di polarizzazione,
caratterizzato dal fatto di comprendere:

15 - mezzi di applicazione (3), configurati in modo
da applicare a detto materiale ferroelettrico una
grandezza elettrica di lettura (V_r) di valore tale da
non causarne una variazione di stato stabile di
polarizzazione;

20 - mezzi di generazione (4), configurati in modo
da generare una grandezza di uscita (V_{out}) indicativa
di una variazione di carica di polarizzazione (ΔQ)
che si verifica in detto materiale ferroelettrico
(14) durante l'applicazione di detta grandezza
elettrica di lettura (V_r); e

25 - mezzi di determinazione (5), configurati in
modo da determinare il valore di detto dato, sulla

base di detta grandezza di uscita (V_{out}).

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 12, in cui detta grandezza elettrica di lettura è una tensione di lettura (V_r) di ampiezza minore di una
5 tensione coercitiva (V_c) di detto materiale ferroelettrico.

14. Dispositivo secondo la rivendicazione 12 o 13, in cui detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ) è data da una differenza tra un
10 primo valore assunto da detta carica di polarizzazione (Q) in detto stato stabile di detto materiale ferroelettrico, ed un secondo valore assunto da detta carica di polarizzazione (Q) durante l'applicazione di detta grandezza elettrica di
15 lettura (V_r).

15. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12-14, in cui detto materiale ferroelettrico (14) è interposto tra un primo ed un secondo elettrodo (2a, 2b), formando un condensatore
20 con carica variabile in funzione della sua polarizzazione, e detti mezzi di generazione (4) sono collegati direttamente ad almeno uno tra detti primo e secondo elettrodo (2a, 2b).

16. Dispositivo secondo una qualsiasi delle
25 rivendicazioni 12-15, in cui detta grandezza di

uscita (V_{out}) è una tensione elettrica, e detti mezzi di generazione comprendono mezzi amplificatori di transimpedenza (4), configurati in modo da rilevare ed elaborare detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ).

17. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12-15, in cui detta grandezza di uscita (V_{out}) è una tensione elettrica, e detti mezzi di generazione comprendono mezzi amplificatori di carica (4), configurati in modo da rilevare ed elaborare detta variazione di carica di polarizzazione (ΔQ).

18. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12-17, in cui detti mezzi di determinazione (5) comprendono inoltre mezzi di correlazione configurati in modo da eseguire una correlazione tra detta grandezza di uscita (V_{out}) e detta grandezza elettrica di lettura (V_r).

19. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12-18, in cui detta grandezza elettrica di lettura (V_r) presenta un andamento triangolare, sinusoidale o ad onda quadra.

20. Dispositivo secondo la rivendicazione 19, in cui detta grandezza elettrica di lettura (V_r) presenta un andamento impulsivo o periodico.

21. Dispositivo secondo la rivendicazione 19 o
20, in cui detta grandezza elettrica di lettura (V_r)
presenta una frequenza maggiore di una capacità di
polarizzazione di detto materiale ferroelettrico
5 (14).

22. Sistema di memorizzazione (11) comprendente
un supporto di memorizzazione ferroelettrico (14),
caratterizzato dal fatto di comprendere un
dispositivo di lettura (1) secondo una qualsiasi
10 delle rivendicazioni 12-21, associato a detto
supporto di memorizzazione ferroelettrico (14).

23. Sistema secondo la rivendicazione 22, di
tipo "probe storage", comprendente almeno una
struttura di interazione (12) associata a detto
15 supporto di memorizzazione (14), e provvista di un
elemento portante (15) disposto al di sopra di detto
supporto di memorizzazione (14) e di un elemento di
interazione (16) portato da detto elemento portante
(15), ed atta ad interagire con detto supporto di
20 memorizzazione (14); detti mezzi di generazione (4)
essendo collegati a detto elemento di interazione
(16).

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

25

Elena CERBARO

- 28 -

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

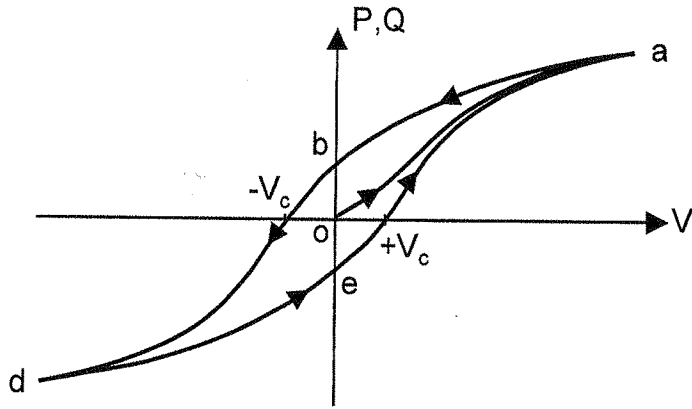


Fig.1

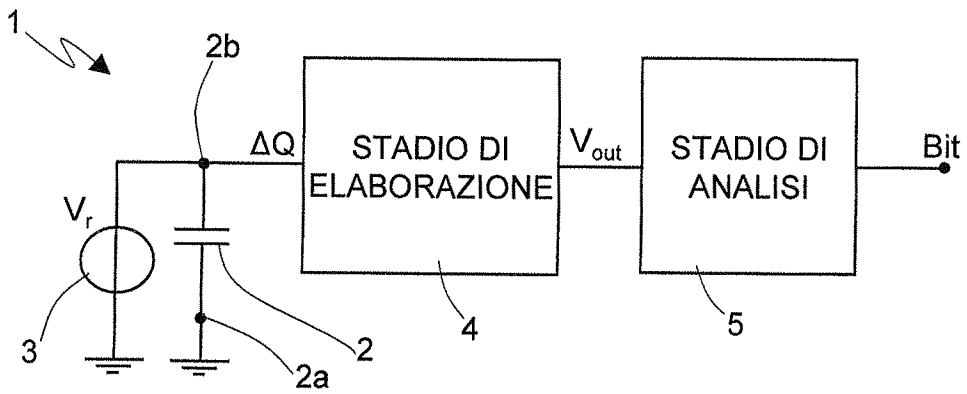


Fig.2

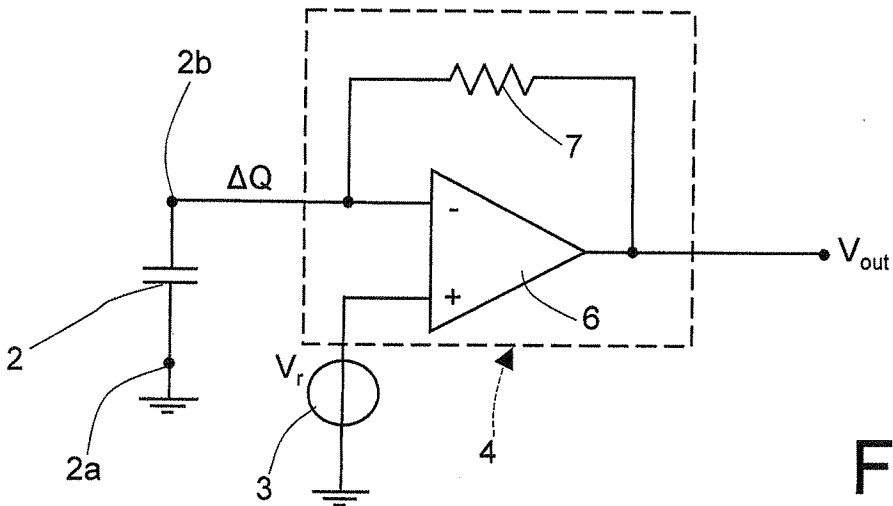


Fig.3

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

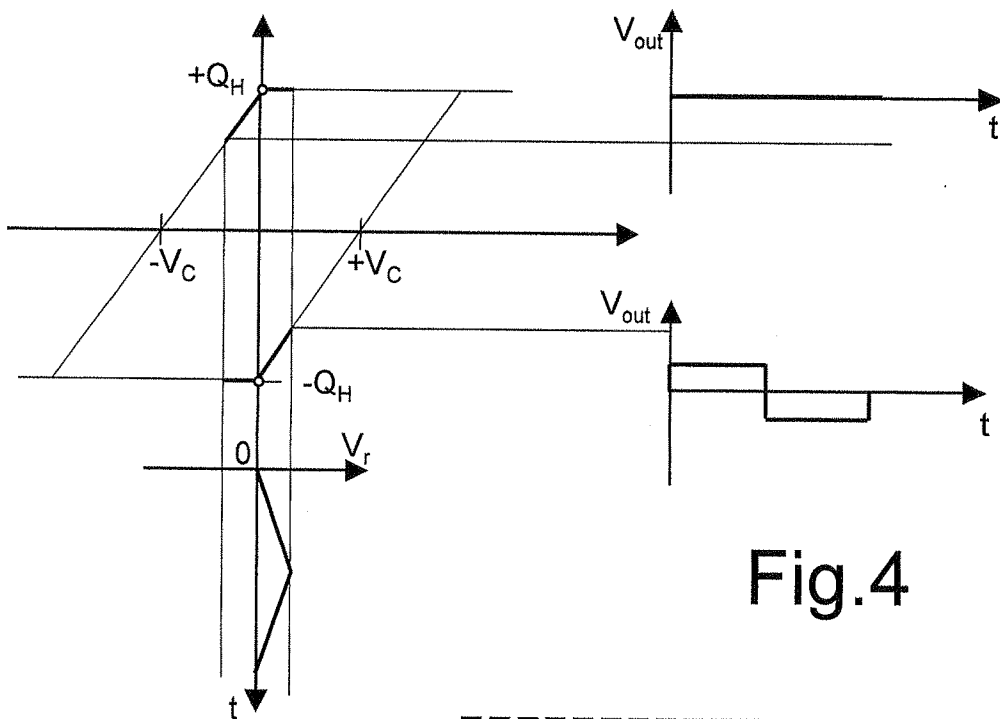


Fig.4

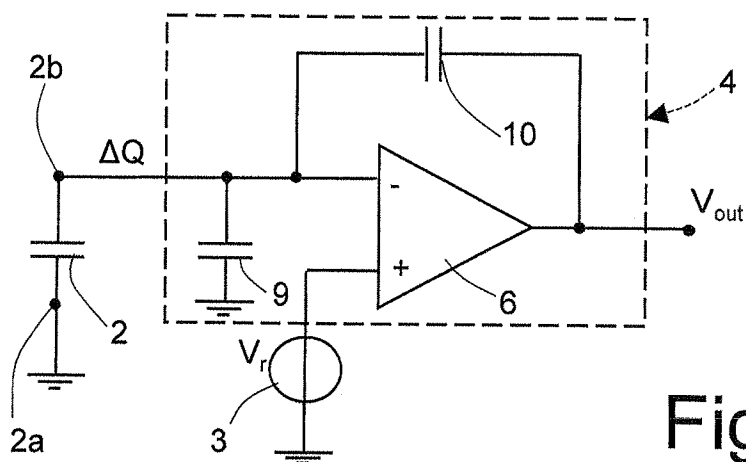


Fig.5

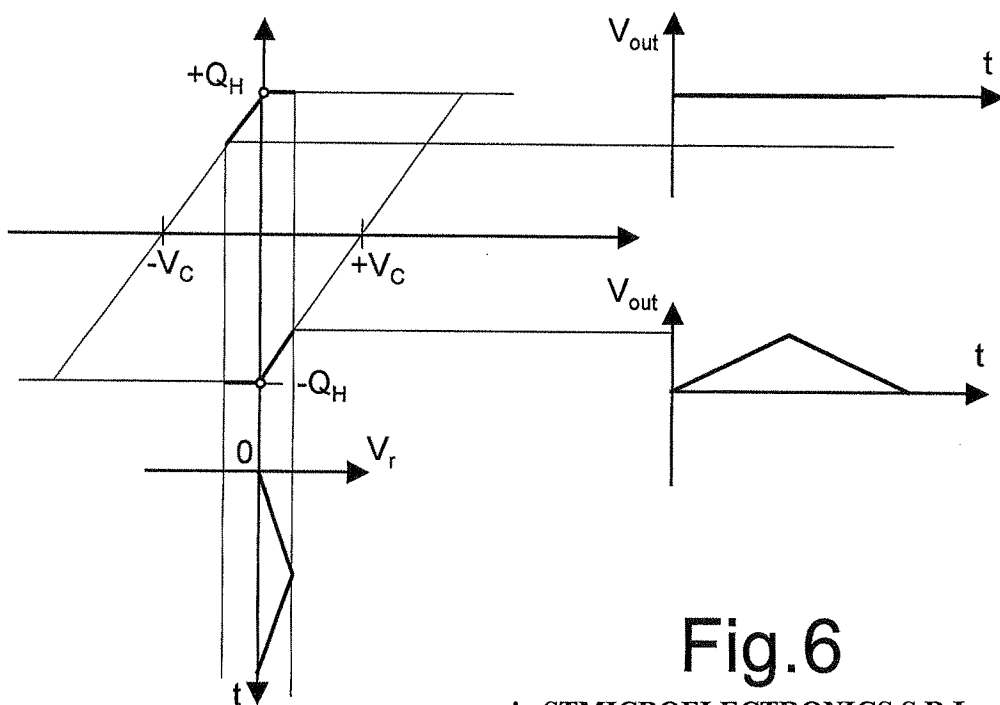


Fig.6

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

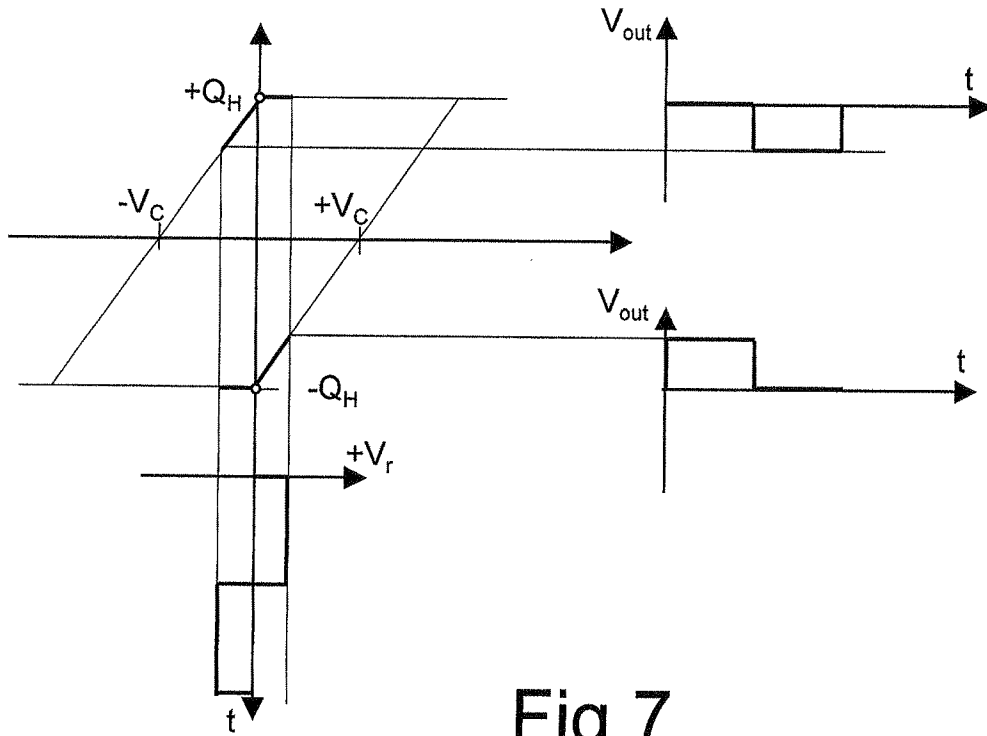


Fig.7

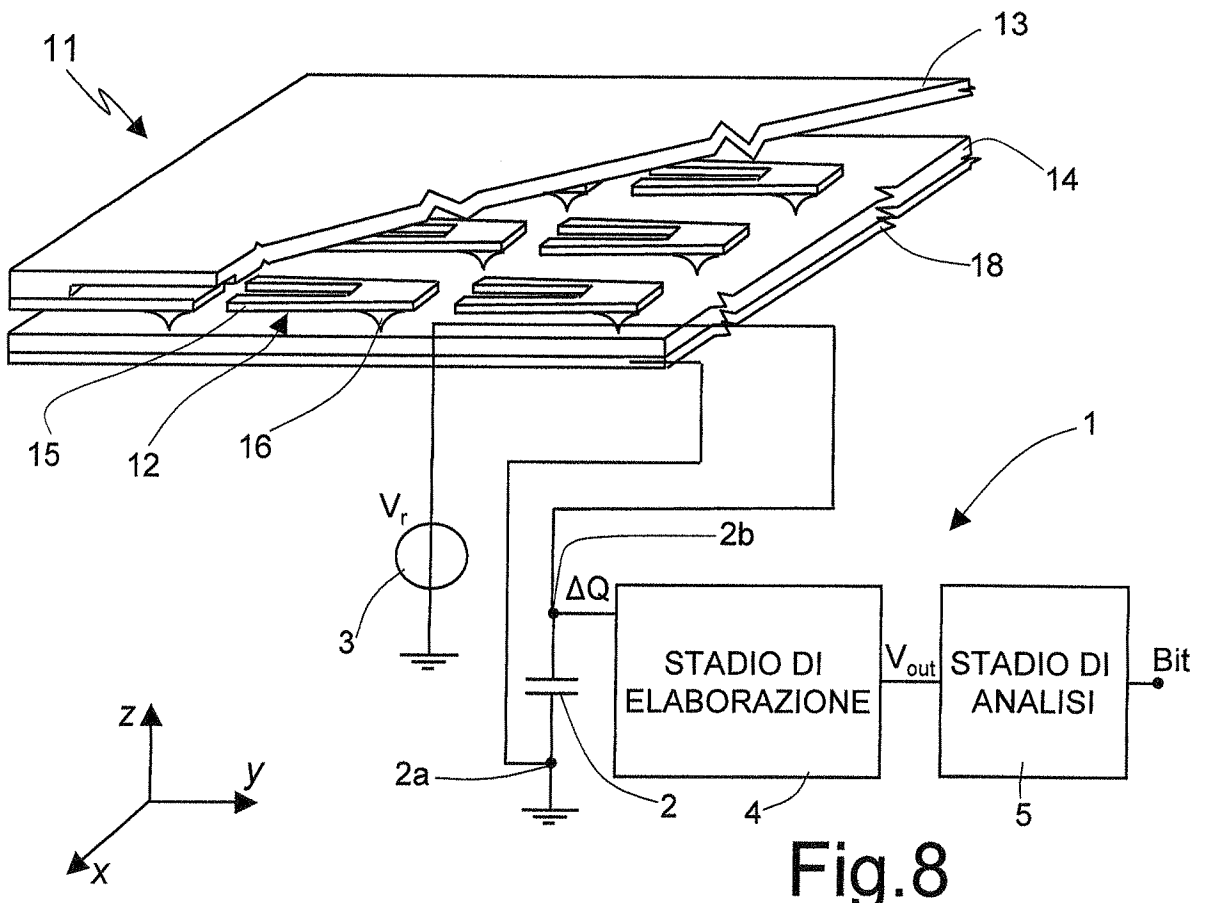


Fig.8

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)