

SCOPERTO IL QUARTO COMPONENTE PASSIVO: IL MEMRISTOR

Paolo De Vittor

Dopo resistore, condensatore e induttore ecco l'elemento mancante, il "memristore", che si candida per applicazioni quali memorie ultradense, computer analogici e calcolo neurale

Se verrà confermata da ulteriori e più approfonditi studi, la notizia è sicuramente di quelle in grado di rivoluzionare le basi della teoria dei circuiti elettrici.

Le attuali conoscenze che formano le basi della teoria dei circuiti elettrici affermano infatti che un qualunque circuito può essere realizzato dalla combinazione di uno o più generatori (di corrente, di tensione, e così via) e di un insieme di componenti passivi scelti fra i tre che si conoscevano sinora: i resistori, i condensatori e gli induttori.

Altrettanto basilari sono le regole che caratterizzano il comportamento dei tre componenti passivi di base: il resistore è infatti in grado di svolgere una funzione che lega fra di loro la corrente e la tensione, il condensatore la tensione e la carica accumulata (e quindi conserva energia tramite un campo elettrico) e infine l'induttore la corrente e il flusso magnetico, in modo da conservare energia tramite un campo magnetico.

Mancava - perché non era mai stato scoperto - un componente che legasse fra di loro flusso magnetico e carica elettrica, in modo da completare l'insieme delle relazioni fondamentali.

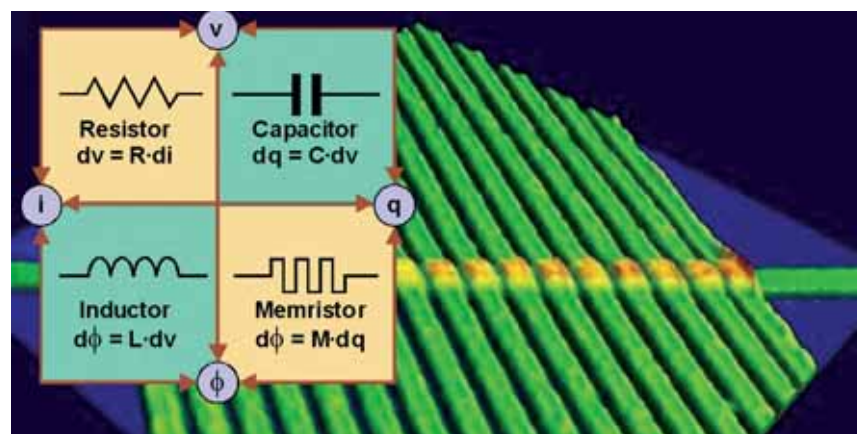


Fig. 1 – Il Memristor e l'equazione che lo caratterizza, messo a confronto con gli altri componenti passivi già noti da tempo, che formano le basi dei circuiti elettrici

Il componente mancante

Del "quarto componente passivo" mancante - in grado di realizzare una correlazione funzionale fra carica elettrica e flusso magnetico - in realtà qualcuno aveva teorizzato l'esistenza, come ad esempio Leon Chua, professore di ingegneria elettrica presso l'università di Berkeley, già nell'ormai lontano 1971. Da allora il fantomatico "memristor" ha rappresentato un vero e proprio "elemento mancante" nel panorama dei componenti passivi. Nello schema di figura 1 è possibile vedere il simbolo proposto per questo nuovo componente (in realtà è identico a quello che viene già utilizzato per indicare un resistore di tipo non

induttivo) nonché l'equazione che lo caratterizza, messi a confronto con gli altri componenti passivi già noti. Sono altresì evidenti le relazioni che legano i parametri fondamentali: tensione, corrente, carica elettrica e flusso magnetico. Nella figura 2 sono messe in evidenza le relazioni fra le costanti caratteristiche dei quattro componenti passivi di base. Nel mese di aprile dello scorso anno sulla rivista Nature è comparso l'annuncio degli HP Labs e dei



componente	legge	costante K	costante
RESISTORE	$I = K \cdot V$	$K = 1 / R$	Resistenza
CONDENSATORE	$\int I = K \cdot V$	$K = C$	Capacità
INDUTTORE	$I = K \cdot \int V$	$K = 1 / L$	Induttanza
MEMORESISTORE	$\int I = K \cdot \int V$	$K = 1 / M$	Memoresistenza

Quantum System Labs (i laboratori di ricerca avanzata di Hewlett-Packard) dove i ricercatori Stanley Williams, Dmitri Strukov e colleghi dichiarano di aver realizzato il primo modello fisico e messa a punto la relativa modellizzazione matematica di un memristor (in italiano potremmo tradurlo con “memoresistore”), attuando di fatto non solo un’invenzione tecnologica ma anche una vera e propria scoperta scientifica. Nello sfondo della figura 1 è visibile la microfotografia resa pubblica da HP Labs.

Il primo esemplare di memoresistore realizzato da HP è composto da un sottile strato di biossido di titanio inserito fra due elettrodi in platino (Fig. 3). Si è scoperto che, sotto l’azione del campo elettrico, lo strato di TiO_2 è in grado di modificare il proprio comportamento, a causa di un leggero impoverimento di atomi di ossigeno, che causa la formazione di un certo numero di “vacanze” di ossigeno, con conseguente modifica della stechiometria. D’altronde la dipendenza della resistività del TiO_2 dalla concentrazione di ossigeno circostante era già nota da tempo, al punto che questo materiale vie-

Fig. 2 - Relazioni matematiche fra le costanti tipiche dei quattro componenti passivi: resistore, condensatore, induttore e memoresistore

ne utilizzato come sensore per l’ossigeno. Le vacanze di ossigeno sono in grado di comportarsi da portatori di carica (quindi dar luogo a una conduzione di tipo ionico) i quali, migrando verso uno degli elettrodi, riducono la resistenza del film di biossido di titanio e modificano le caratteristiche della barriera elettronica nell’interfaccia fra l’ossido e il metallo dei contatti, analogamente a quanto avviene nelle barriere Schottky fra metallo e semiconduttore.

Applicando tensione fra i due elettrodi si

provoca infatti uno spostamento del confine fra lo strato con carenza di ossigeno rispetto a quello più ossigenato, e si è scoperto che il fenomeno è stabile ed è caratterizzato da una netta isteresi, peraltro già osservata in altri tipi di

Un ulteriore vantaggio è inoltre rappresentato dalla direzionalità, ovvero il valore di resistenza assunto dipende dalla direzione della corrente che fluisce all’interno del memristor, ovvero dal verso della tensione applicata.

La denominazione di “memoresistore” è derivata dal fatto che, rispetto a un normale resistore, questo nuovo componente è in grado di assumere un preciso e stabile valore resistivo, che però è condizionato dall’intensità della corrente che lo ha attraversato; quindi è come se venisse “memorizzata” dal componente stesso.

Studiando questa peculiarità del sottile strato di biossido di titanio (fra l’altro parzialmente drogato per creare un certo numero di vacanze di ossigeno verso una delle metallizzazioni, come evidenziato in Fig. 3), i ricercatori degli HP Labs hanno constatato che la difficoltà finora incontrata nell’individuare questo tipo di comportamento è determinata dal fatto che solo a scala nanometrica è possibile ottenere una dipendenza della resistenza dal flusso di corrente.

Interessanti prospettive

Grazie a queste proprietà, i memoresistori potranno essere impiegati come elementi di memoria non-volatile di nuova concezione (potrebbe venir chiamata RRam, ovvero Resistive-Ram), caratterizzati da dimensioni ridottissime, con tempi di accesso che negli attuali prototipi sono di 50 nsec.

Grazie a queste prospettive, anche il ministero della difesa statunitense ha dimostrato il proprio interesse all’argomento e ha stanziato cospicui finanziamenti.

Grazie al fatto di poter “modulare” e memorizzare permanentemente il valo-

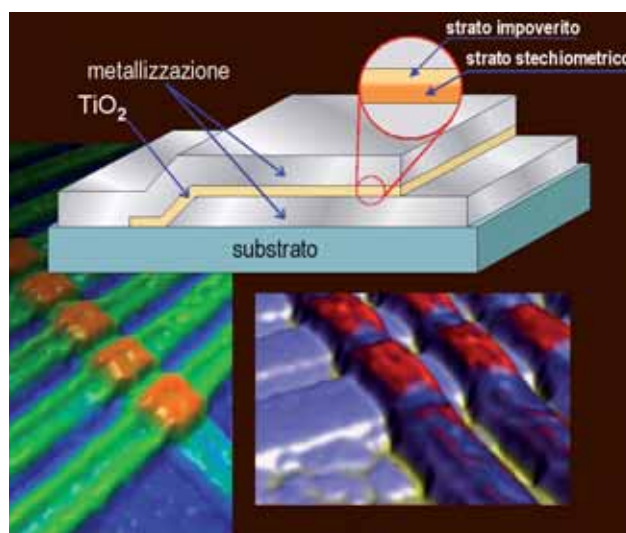


Fig. 3 - Struttura di principio del Memristor realizzato nei laboratori di Hewlett-Packard

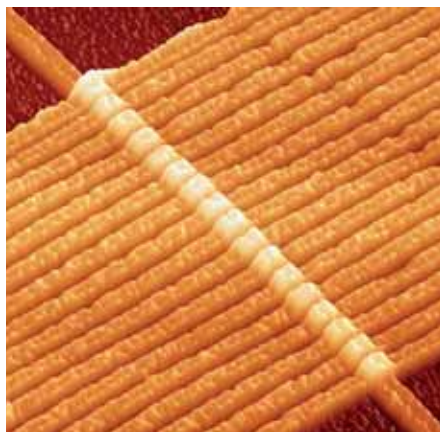


Fig. 4 - Foto al microscopio a forza atomica (AFM) di un circuito basato su di una struttura di 17 memristor allineati, in cui i collegamenti sono larghi solo 50 nanometri, ovvero 150 atomi

dai memoresistori è rappresentato dal fatto che la variazione della resistenza del film di biossido di titanio diviene via via più accentuato con il progressivo diminuire delle dimensioni del dispositivo, contrariamente ai convenzionali circuiti Cmos, nei quali al decrescere delle dimensioni aumentano i problemi dovuti ad esempio alla dissipazione e alle correnti di fuga. L'effetto di memoresistenza è invece proporzionale all'inverso del quadrato dello spessore del film di ossido, e quindi a dimensioni nanometriche l'effetto è spiccato.

Ciò permette di ipotizzare la realizzazione di transistor a memoresistenza

re della resistenza, questi nuovi componenti permettono di compiere un passo avanti rispetto ai tradizionali elementi (a semiconduttore, magnetici o ottici) di tipo on-off, permettendo di ipotizzare futuri sistemi di memorizzazione e di calcolo di tipo analogico, e quindi molto più simili a quelli di tipo umano, denominati "neuronal (o neural) computer", con il vantaggio di poter simulare alcune delle funzioni cerebrali umane con circuiti di complessità limitata.

Le sinapsi umane, infatti, funzionano in modo da permettere la trasmissione "modulata" e con potenziali di soglia degli impulsi elettrici, ciò che si potrebbe ottenere proprio con i nanomemoresistori che potrebbero divenire così delle vere e proprie "sinapsi elettroniche".

Un vantaggio non trascurabile offerto

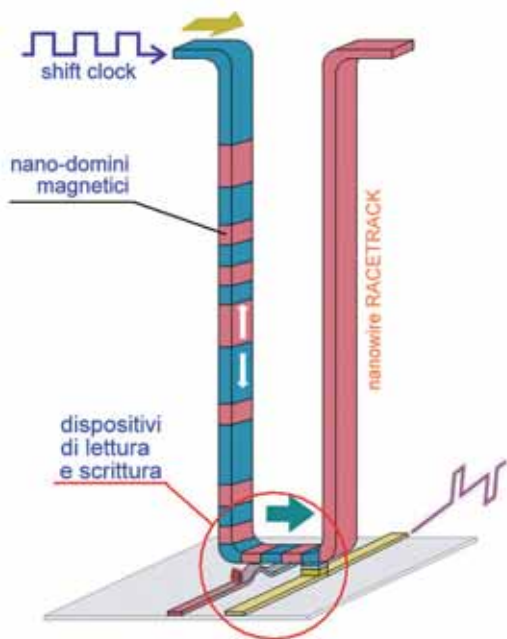


Fig. 5 - Il Racetrack è un nanofilo di silicio lungo il quale vengono fatti avanzare dei nano-domini magnetici tramite opportuni impulsi di corrente

estremamente piccoli, con il vantaggio di proseguire ancora la validità della legge di Moore. HP, nelle sperimentazioni fatte, ha utilizzato strutture di dimensioni nanometriche. Nella foto al microscopio a forza atomica (AFM) di figura 4 si può osservare un

i buy
Ordine Diretto On-line

1
Verifica della disponibilità in tempo reale

2
Ordine con carta di credito

3
Consegna entro due giorni lavorativi

intersil.com/ibuy

the EVOLUTION of ANALOG™

intersil®

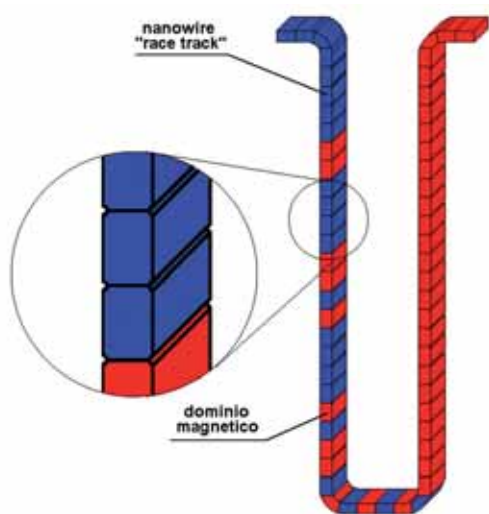


Fig. 6 – Opportuni “notch” lungo il race-track permettono di delimitare l'estensione dei domini a spin opposto

circuito basato su di una struttura di 17 memristor allineati, in cui lo spessore del film di TiO_2 ha una dimensione di soli 15 nanometri e i collegamenti sono larghi 50 nm, ovvero sono costituiti da circa 150 atomi.

A proposito di possibili applicazioni, presso gli HP Labs è stato realizzato un prototipo di memoria non-volatile da 100 Gigabit su una superficie di un solo centimetro quadrato, da confrontare con i 16 Gbit massimi di un chip di memoria Flash. HP, riducendo le dimensioni dei singoli elementi a 4 nanometri, sostiene di poter arrivare fino a densità di almeno 1 Terabit/ cm^2 . Ciò significa ad esempio poter realizzare sistemi di memoria con densità paragonabili agli attuali hard-disk ma 1000 volte più veloci.

Densità paragonabili con la Race-track

Sebbene la realizzazione di dispositivi di memoria rappresenti solo una delle applicazioni possibili per i memoresistori, una densità di memorizzazione paragonabile a questa potrebbe derivare anche da un'altra tecnologia già annunciata da IBM due anni orsono ma che ha

avuto ulteriori conferme e sperimentazioni nei mesi scorsi: la “racetrack”.

Il principio su cui si basa questa nuova tecnica fonda le sue basi sulla cosiddetta “spintronica”.

I laboratori di Almaden stanno infatti studiando una tecnica innovativa di memorizzazione, che utilizza delle “correnti di spin” per manipolare la magnetizzazione di apposite strutture di dimensioni nanometriche, che promettono di realizzare sistemi di memoria con densità e costi analoghi agli hard-disk, ma con prestazioni e affidabilità superiori, grazie all'assenza di parti in movimento. Non solo, ma rispetto alle Flash non presenta alcuna limitazione nel numero di cicli di lettura-scrittura. In altri termini, invece di utilizzare la

impulsi di corrente a spin controllato, che provocano lo scorrimento dei nano-domini.

Nella medesima figura 5 sono indicati anche i sottostanti dispositivi di lettura e scrittura, realizzati nel chip sottostante in tecnologia Cmos. Nella figura 6 sono indicati i “notch” (tacche) che servono a delimitare i confini dei singoli domini magnetici, dove i colori rosso e blu indicano polarizzazioni opposte. Nella foto al microscopio elettronico di figura 7 si possono vedere i fori con le tacche prima della deposizione del materiale magnetico.

Il brevetto basato sulla spintronica è stato depositato da IBM già nel 2004, e prevede di utilizzare celle di 1 micron quadrato - analoghe a quelle che memorizzano 1 bit in una Ram statica o 10 bit in una Flash - ma con il vantaggio della terza dimensione, sfruttando una struttura incavata in cui poter memorizzare un maggior numero di bit sotto forma di domini a spin polarizzati.

Con 10 micron di altezza, IBM prevede di poter memorizzare 10 bit. Solo con le prossime ricerche e raggiungendo i 100 bit al micron quadrato si eguaglierebbero però le attuali densità degli hard-disk.

IBM pensa di utilizzare un array tridimensionale di

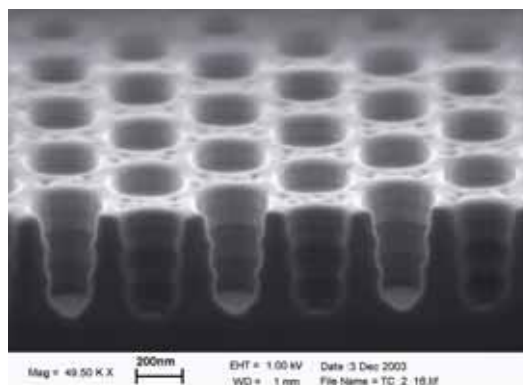


Fig. 7 – Foto al microscopio elettronico del supporto prima della deposizione del materiale magnetico

carica degli elettroni, si utilizza il loro spin, ovvero il loro verso di rotazione. Il nome “racetrack” viene dato a un “nanofilo” di silicio (Fig. 5) che funge da sorta di “registro a scorrimento” nel quale vengono memorizzati i valori di spin magnetico localizzato, i quali vengono fatti avanzare tramite opportuni

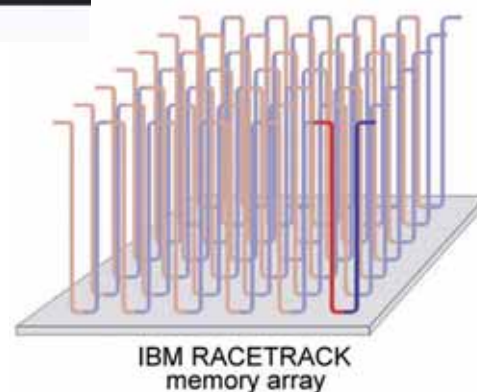


Fig. 8 – Ecco come si presenta un array di Racetracks per una memorizzazione ad alta densità

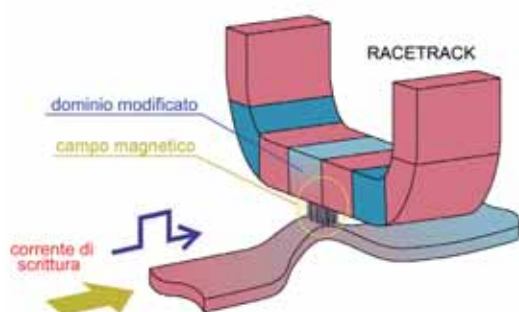


Fig. 9 – Durante la fase di scrittura il dominio da modificare viene traslato nella giusta posizione, ed un apposito circuito provvede a invertire la magnetizzazione del nano-dominio

Racetracks (Fig. 8) per realizzare strutture di memoria ad alta densità, nei quali l'avanzamento dei nano-domini può avvenire con impulsi di clock della durata di circa 1 nanosecondo, per un tempo di accesso totale di alcune decine di nsec, paragonabile a quello delle attuali Ram dinamiche. Questi impulsi vengono inviati a un circuito di scrittura (Fig. 9) che, una volta traslato nella giusta posizione il dominio da modificare, provvede a invertire lo spin degli elettroni in modo da invertire il bit relativo.

Durante la fase di lettura viene invece utilizzata una struttura analoga a quella utilizzata nelle testine degli hard-disk di ultima generazione, costituita da una "pila" di materiali ferromagnetici, antiferromagnetici, conduttori e isolanti che permettono di rilevare - tramite la variazione nella corrente di lettura - del verso di magnetizzazione del nano-dominio soprastante (Fig. 10).

Stuart Parkin, ricercatore di IBM che sta lavorando sui dispositivi Racetrack, già nel 1989 aveva inventato un dispositivo sensore a "spin valve" (valvola di spin), che si basava sull'effetto magnetoresistivo gigante, che ha permesso di incrementare di ben 1000 volte la densità degli attuali dischi rigidi. Il passo successivo è stata l'invenzione della

giunzione a tunnel magnetico (MTJ), costituita da un sandwich di due strati magnetici separati da un sottile strato isolante, effetto sfruttato nelle Magnetic-Ram dal 1999.

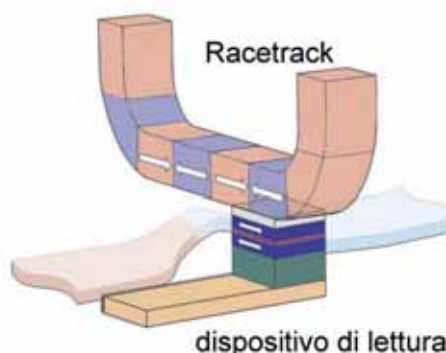


Fig. 10 – Il dispositivo di lettura utilizza una struttura di strati analoga a quella oggi utilizzata nelle testine degli hard-disk

Per maggiori informazioni:

<http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/memristor.html>

http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/engineering_memristor.html

<http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/memristor.html>

<http://www.physorg.com/news128786808.html>

<http://www.ibm.com>



Proprio ciò di cui avete bisogno!

- ✓ **Amplificatori operazionali micropower di precisione**
- ✓ **Amplificatori di strumentazione**
- ✓ **Amplificatori per il rilevamento della corrente**
- ✓ **Riferimenti di tensione di precisione**
- ✓ **Convertitori analogico-digitale**
- ✓ **Potenzimetri digitali**

intersil.com/pinpoint

the EVOLUTION of ANALOG™

intersil®