



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0035028

(51)⁷ G11C 11/16

(13) B

(21) 1-2019-03787

(22) 06/12/2017

(86) PCT/GB2017/053674 06/12/2017

(87) WO/2018/109441 21/06/2018

(30) 1621485.0 16/12/2016 GB

(45) 27/03/2023 420

(43) 25/02/2020 383A

(73) IP2IPO INNOVATIONS LIMITED (GB)

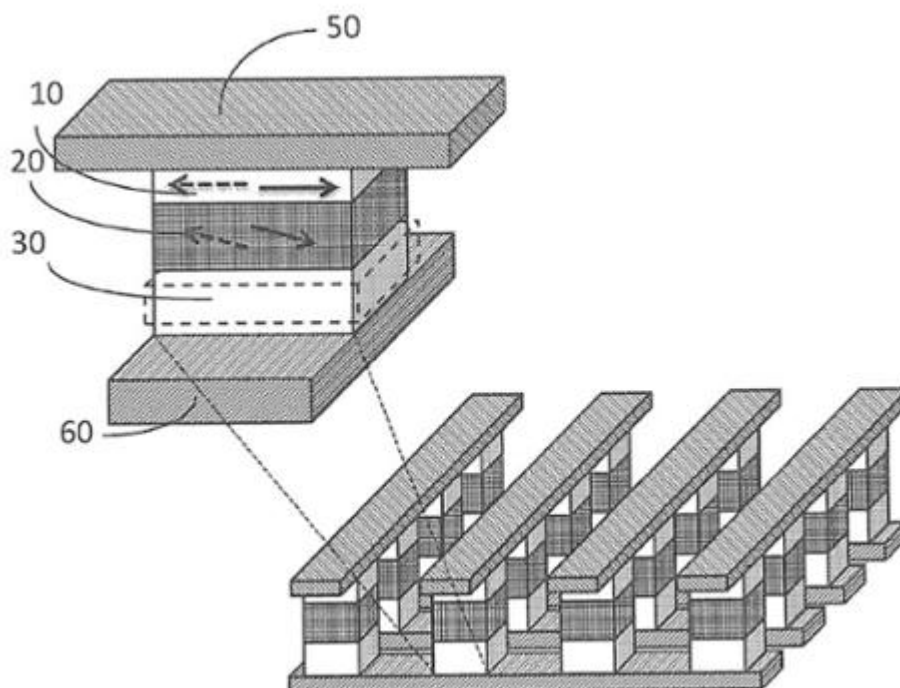
Top Floor, The Walbrook Building, 25 Walbrook, London, EC4N 8AF, England

(72) ZEMEN, Jan (CZ); MIHAI, Andrei Paul (RO); ZOU, Bin (CN); BOLDRIN, David (GB); DONCHEV, Evgeniy (BG).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) TẾ BÀO NHỚ BẤT BIẾN, MẢNG TẾ BÀO NHỚ HAI CHIỀU, MẢNG TẾ BÀO NHỚ BA CHIỀU, VÀ PHƯƠNG PHÁP GHI DỮ LIỆU VÀO VÀ ĐỌC DỮ LIỆU TỪ TẾ BÀO NHỚ BẤT BIẾN

(57) Sáng chế đề xuất tế bào nhớ bất biến bao gồm: lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt từ hoặc vật liệu sắt điện mà trong đó dữ liệu có thể được ghi dưới dạng chiều phân cực từ hoặc chiều phân cực điện; lớp áp từ bao gồm vật liệu áp từ phản perovskit có kiểu hiệu ứng thứ nhất trên lớp lưu trữ và kiểu hiệu ứng thứ hai trên lớp lưu trữ một cách có lựa chọn, tùy theo trạng thái từ tính và ứng suất ở lớp áp từ; và lớp gây ứng suất để gây ra ứng suất ở lớp áp từ để nhờ đó chuyển từ kiểu hiệu ứng thứ nhất sang kiểu hiệu ứng thứ hai.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến tế bào nhớ bất biến (Non-Volatile Memory - NVM) và đến phương pháp ghi dữ liệu vào và đọc dữ liệu từ tế bào nhớ bất biến.

Sáng chế nhằm lấp khoảng trống giữa bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên (Random Access Memory - RAM) khả biến, có hiệu suất cao và đắt tiền của máy tính với các thiết bị lưu trữ dữ liệu bất biến có hiệu suất thấp và giá rẻ, chẳng hạn các ổ đĩa cứng (Hard Disk Drive - HDD). Các công nghệ NVM đang nổi lên mà cố gắng lấp khoảng trống này được gọi là bộ nhớ lớp lưu trữ (Storage Class Memory - SCM).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Xét về mặt cải thiện hiệu suất của việc lưu trữ dữ liệu, thì ứng cử viên chính là NAND-Flash, là công nghệ nổi trội ở các ổ đĩa thể rắn (Solid State Drive - SSD), hiện tại quá đắt để thay thế HDD, và khả năng chịu đựng, hiệu suất, và hiệu quả năng lượng thấp của nó ngăn không cho nó được ứng dụng làm RAM. Công nghệ HDD được cải thiện, chẳng hạn ghi từ tính được hỗ trợ nhiệt (Heat Assisted Magnetic Recording - HAMR), cũng gặp vấn đề về hiệu suất thấp. Trong số các công nghệ bộ nhớ bất biến đang được phát triển, thì các đối thủ chính là RAM truyền mômen spin (Spin-Transfer Torque RAM - STT-RAM, có khả năng thay đổi quy mô bị giới hạn, cần mật độ dòng điện tương đối cao để chuyển giữa các trạng thái), RAM sắt điện (Ferroelectric RAM - FRAM, sử dụng công nghệ đọc ra mang tính phá huỷ và có khả năng chịu đựng thấp hơn), bộ nhớ thay đổi pha (Phase-Change Memory - PCM, có khả năng chịu đựng thấp, hiệu quả năng lượng thấp và phụ thuộc vào các vật liệu đắt tiền và độc hại), RAM điện trở (Resistive RAM - RRAM, sử dụng công nghệ đọc ra mang tính phá huỷ, và các mảng bộ nhớ thụ động gặp phải vấn đề về đường dẫn ngầm) và các thiết bị đa tế bào dựa trên các nguyên lý này.

Các tế bào NVM hiện tại gặp phải một hoặc nhiều trong số các nhược điểm sau đây: chúng cần tranzito để đọc và/hoặc ghi dữ liệu, chúng cần nhiều hơn hai điện

cực để đọc và ghi dữ liệu, chúng không thể xếp chồng được nên không thể được tạo thành các mảng ba chiều, chúng có mật độ bó thấp theo hai chiều.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất tế bào nhớ bất biến bao gồm: lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt từ mà ở đó dữ liệu là có thể ghi được dưới dạng chiều từ hoá; lớp áp từ bao gồm vật liệu áp từ phản perovskit có kiểu hiệu ứng thứ nhất trên lớp lưu trữ và kiểu hiệu ứng thứ hai trên lớp lưu trữ một cách có lựa chọn, tùy theo trạng thái ứng suất ở lớp áp từ; lớp gây ứng suất để gây ra ứng suất ở lớp áp từ để nhờ đó chuyển từ kiểu hiệu ứng thứ nhất sang kiểu hiệu ứng thứ hai.

Do đó, sáng chế sử dụng các thuộc tính thay đổi của các vật liệu áp từ phản perovskit với trạng thái ứng suất biến thiên theo cách có lựa chọn để làm biến thiên cường độ tương tác giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ. Hai kiểu hiệu ứng này cho phép ghi vào tế bào nhớ. Độ từ hoá ở lớp lưu trữ ảnh hưởng đến trạng thái từ tính ở lớp áp từ. Trạng thái từ tính ở lớp áp từ ảnh hưởng đến các thuộc tính đàn hồi của lớp áp từ do sự ghép cặp từ-đàn hồi mạnh mẽ của nó. Lớp áp từ tạo thành tấm dính của tụ điện phẳng, và việc đo điện dung của nó được dùng để đọc trạng thái từ tính của lớp lưu trữ (hiệu ứng từ-điện dung) nhờ sử dụng chỉ hai điện cực.

Theo một phương án, kiểu hiệu ứng thứ nhất là kiểu hiệu ứng mà trong đó độ từ hoá thực của lớp áp từ là đủ mạnh để thắng trường kháng từ ở lớp lưu trữ và để sự từ hoá của lớp lưu trữ đồng chỉnh với sự từ hoá của lớp áp từ thông qua sự ghép cặp lưỡng cực, và kiểu hiệu ứng thứ hai là kiểu hiệu ứng mà trong đó từ trường bất kỳ ở lớp lưu trữ do sự từ hoá bất kỳ của lớp áp từ là thấp hơn trường kháng từ của lớp lưu trữ. Do đó, ở kiểu hiệu ứng thứ hai thì sự từ hoá của lớp lưu trữ là không đổi chiều.

Do đó, để ghi thông tin, thì điện áp được cấp vào lớp áp điện để gây ra ứng suất ở lớp áp từ để thay đổi độ từ hoá của nó. Sự thay đổi về độ từ hoá của lớp áp từ là có tác dụng thay đổi chiều từ hoá của lớp lưu trữ do sự ghép cặp lưỡng cực giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ. Sau khi chiều từ hoá của lớp lưu trữ đã được thay đổi, thì trạng thái ứng suất ở lớp gây ứng suất (áp điện) được giảm xuống đến giá trị nhỏ (ví dụ, giá trị khác không) do sự không khớp mạng nhỏ giữa lớp áp từ và lớp gây ứng suất hoặc do sự phân cực sắt điện của lớp gây ứng suất, để độ từ hoá ở lớp áp từ giảm

xuống đến mức độ mà từ trường bất kỳ ở lớp lưu trữ là thấp hơn trường kháng từ của lớp lưu trữ. Nhờ đó, chiều từ hoá ở lớp lưu trữ là không đổi khi ứng suất được loại bỏ khỏi lớp áp từ (khi điện áp được loại bỏ khỏi lớp áp điện).

Ưu điểm của cấu trúc này là ở chỗ các điện cực giống như được sử dụng để ghi vào lớp lưu trữ là có thể được dùng để đọc lớp lưu trữ.

Theo một phương án, tế bào nhớ bất biến này bao gồm lớp phi từ tính giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ để ngăn chặn thiên áp trao đổi giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ. Nếu có thiên áp trao đổi tồn tại giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ, khi loại bỏ ứng suất mà được tác động vào lớp áp từ để ghi vào lớp lưu trữ, thì chiều từ hoá ở lớp lưu trữ cũng sẽ bị ảnh hưởng. Nhờ đó, việc bao gồm lớp phi từ tính giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ sẽ cho phép loại bỏ điện áp khỏi tế bào NVM mà không làm mất dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ.

Theo một phương án, vật liệu áp từ phản perovskit có nhiệt độ Neel (T_N) lớn hơn 350K tại ứng suất là $\pm 30\%$, được ưu tiên là $\pm 10\%$, tốt nhất là $\pm 1\%$. Điều này có nghĩa là vật liệu áp từ phản perovskit sẽ giữ được các thuộc tính áp từ của nó tại các nhiệt độ hoạt động thông thường của tế bào nhớ bất biến và sẽ không cần, ví dụ, cấu trúc làm mát đặc biệt nào để bảo đảm rằng vật liệu không tăng lên quá nhiệt độ Neel và từ đó trở nên thuận từ.

Theo một phương án, vật liệu áp từ phản perovskit là vật liệu dựa trên Mn_3SnN (ví dụ, $Mn_{3-x}A_xSn_{1-y}B_yN_{1-z}$, trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn). Mn_3SnN là vật liệu mà được tìm thấy là có nhiệt độ Neel vào khoảng 475 K cũng như có sự thay đổi lớn về độ từ hoá sinh ra đối với sự thay đổi nhỏ về ứng suất, và từ đó có thể đem lại độ tin cậy cao.

Theo một phương án, kiểu hiệu ứng thứ nhất là kiểu hiệu ứng mà trong đó lớp áp từ là ở trạng thái thuận từ và không có sự tương tác thiên áp trao đổi nào giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ, nhờ đó cho phép thay đổi chiều từ hoá của lớp lưu trữ bằng từ trường ngoài, và kiểu hiệu ứng thứ hai là sự tương tác thiên áp trao đổi mà trong đó vật liệu áp từ là ở trạng thái phản sắt từ để chiều từ hoá của lớp lưu trữ là được giữ bởi lớp áp từ. Từ trường ngoài có thể là trường có thể chuyển được mà được tác động vào toàn bộ mảng hoặc cục bộ vào mỗi bit, hoặc là trường vuông góc không

đổi để điều khiển việc chuyển độ từ hoá tiến động. Theo phương án này, thì thuộc tính mới được phát hiện của các vật liệu áp từ phản perovskit, là việc chúng có sự thay đổi về nhiệt độ Neel theo ứng suất, là được áp dụng vào tế bào nhớ bất biến. Điều này cho phép làm biến thiên chiều từ hoá của lớp lưu trữ, khi vật liệu áp từ phản perovskit là thuận từ. Sau đó, ứng suất mà được tác động vào vật liệu áp từ được giải phóng để trả vật liệu áp từ phản perovskit về trạng thái phản sắt từ khi nó giữ chiều từ hoá của lớp lưu trữ bằng sự tương tác thiên áp trao đổi. Nhờ đó, chiều từ hoá ở lớp lưu trữ là được duy trì ngay cả khi không có điện áp được cấp vào tế bào nhớ. Do đó, tế bào nhớ đó là bất biến, chống chịu tốt với những sự biến động nhiệt hoặc các từ trường ngoài, và không tiêu tốn nhiều công suất.

Theo một phương án, vật liệu áp từ này có nhiệt độ Neel biến thiên theo trạng thái ứng suất, và trong đó, nhiệt độ Neel này vượt quá 293 K khi ứng suất được làm biến thiên từ + 30% đến -30%, được ưu tiên là + 10% đến -10%, tốt nhất là + 1% đến -1%. Điều này có nghĩa là thiết bị có thể được vận hành tại các nhiệt độ môi trường thông thường và không cần việc làm nóng hay làm mát nào (chẳng hạn ở HAMR) để tế bào NVM hoạt động đúng.

Theo một phương án, vật liệu áp từ phản perovskit là dựa trên Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , ví dụ, $Mn_{3-x}A_xGa_{1-y}B_yN_{1-z}$ hoặc $Mn_{3-x}A_xNi_{1-y}B_yN_{1-z}$, trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn. Một số trong số các vật liệu này đã được tìm thấy là có sự thay đổi về nhiệt độ Neel mà biến thiên theo trạng thái ứng suất, trong đó nhiệt độ Neel là vượt quá 293 K khi ứng suất được làm biến thiên từ + 1% đến -1%, và cũng có sự thay đổi lớn về nhiệt độ Neel trong khoảng ứng suất đó, từ đó cho phép điều khiển việc ghi vào lớp lưu trữ một cách dễ dàng hơn.

Theo một phương án, tế bào nhớ bất biến này bao gồm ít nhất một điện cực bổ sung được đặt kề với lớp lưu trữ để gây ra từ trường phụ thuộc thời gian tổng thể hoặc cục bộ, để thay đổi chiều từ hoá của lớp lưu trữ. Theo một phương án, lớp bổ sung này có sự từ hoá không đổi và vuông góc với sự từ hoá của lớp lưu trữ để gây ra sự chuyển tiến động của sự từ hoá của lớp lưu trữ khi nó trở nên không bị giữ trong nửa chu kỳ tiến động của nó. Cơ chế bổ sung này là có lợi theo phương án mà trong đó vật liệu áp từ được làm thuận từ trong thủ tục ghi để nhả giữ lớp lưu trữ.

Một nguồn từ trường được tác động có thể được dùng để ghi dữ liệu vào nhiều tế bào nhớ. Theo một phương án ưu tiên, lớp gây ứng suất là lớp áp điện. Điều này cho phép chuyển nhanh giữa các tỷ lệ ứng suất khác nhau và độ bền xuất sắc.

Theo một phương án, lớp gây ứng suất là vật liệu perovskit. Điều này có ưu điểm là vì có thể giảm sự không khớp mạng bất kỳ giữa lớp gây ứng suất và lớp áp từ. Với mức độ không khớp mạng thấp hơn, thì cả ứng suất kéo lẫn ứng suất nén là có thể được tạo ra ở lớp áp từ bởi lớp gây ứng suất, và ngoài ra, ứng suất còn lại bất kỳ ở lớp áp từ, khi lớp gây ứng suất không được kích hoạt (tức là, do sự không khớp mạng), là được giảm bớt. Điều này là có lợi vì nó cải thiện độ ổn định cơ học và độ bền của tế bào nhớ.

Theo một phương án, sự không khớp mạng giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ và/hoặc giữa lớp áp từ và lớp gây ứng suất là nhỏ hơn 1%. Điều này làm tăng độ bền của thiết bị, và trong trường hợp có sự không khớp thấp giữa lớp áp từ và lớp gây ra, thì cho phép gây ra cả ứng suất kéo và ứng suất nén ở lớp áp từ, và nhờ đó cho phép các thao tác ghi theo kiểu phương án thực hiện thứ nhất. Trong trường hợp tế bào nhớ bất biến này là một phần của mảng tế bào nhớ hai chiều hoặc ba chiều, thì sự không khớp mạng nhỏ sẽ cho phép xây dựng các mảng cỡ lớn mà vốn sẽ có các mức độ ứng suất không thể chấp nhận được ở chúng.

Theo một phương án, lớp lưu trữ là lớp perovskit. Điều này là có lợi vì sự không khớp mạng giữa lớp perovskit và lớp phản perovskit kề nhau sẽ cho phép sự không khớp mạng thấp giữa các lớp với các ưu điểm nêu trên.

Theo một phương án, tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm: điện cực thứ nhất được nối với lớp lưu trữ ở phía đối diện với lớp áp từ; và điện cực thứ hai được nối với lớp gây ứng suất ở phía đối diện với lớp áp từ. Do đó, bộ nhớ bất biến này có thể được đọc và được ghi mà chỉ cần hai điện cực đó mà không cần tranzito tại mỗi tế bào của mảng. Do đó, tế bào NVM này là dễ dàng đánh địa chỉ được. Ở mảng hai chiều, thì các tế bào nhớ riêng lẻ có thể được đánh địa chỉ bằng điện cực thứ nhất và điện cực thứ hai mà được dùng chung với các tế bào khác của mảng.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất mảng tế bào nhớ hai chiều hoặc ba chiều bao gồm nhiều tế bào nhớ bất biến theo sáng chế. Các tế bào nhớ theo sáng chế là phù hợp một cách lý tưởng để được kết hợp vào mảng hai chiều hoặc ba chiều, bởi

vì, đặc biệt là nếu được xây dựng với sự không khớp mạng thấp giữa các lớp, thì các ứng suất sẽ không bị tích tụ khi có nhiều tế bào nhớ hơn được tạo ra kề nhau, cả theo chiều ngang lẫn theo chiều đứng. Kích thước của mỗi tế bào nhớ là nhỏ, và việc chỉ cần hai điện cực để thực hiện cả chức năng đọc và chức năng ghi có nghĩa là có thể đạt được bộ nhớ mật độ cao.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất phương pháp ghi dữ liệu vào và đọc dữ liệu từ tế bào nhớ bất biến bao gồm lớp lưu trữ và lớp áp từ phản perovskit, phương pháp này bao gồm các bước: gây ra sự phân cực theo chiều thứ nhất hoặc chiều thứ hai ở lớp lưu trữ để nhờ đó ghi dữ liệu vào tế bào nhớ, sự phân cực của lớp lưu trữ theo chiều thứ nhất gây ra trạng thái từ tính thứ nhất ở lớp áp từ phản perovskit, và sự phân cực của lớp lưu trữ theo chiều thứ hai gây ra trạng thái từ tính thứ hai ở lớp áp từ phản perovskit, và đo từ-điện dung của tế bào nhớ, từ-điện dung của lớp áp từ phản perovskit khi ở trạng thái từ tính thứ nhất là khác với khi ở trạng thái từ tính thứ hai, nhờ đó đọc dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ.

Do đó, thông tin được lưu ở lớp lưu trữ có thể được đọc bằng cách sử dụng chỉ hai điện cực mà không cần tranzito và không ghi đè dữ liệu được lưu trong bộ nhớ. Điều này là không thể đạt được nếu không có lớp áp từ phản perovskit vì điện dung của tụ điện sắt điện thông thường là đối xứng quanh sự định hướng của sự phân cực điện của nó. Tức là, từ-điện dung của bit nhớ khi được đo trong trạng thái phản sắt từ được bù hoàn toàn hoặc trạng thái thuận từ của lớp áp từ phản perovskit là giống nhau mà không phụ thuộc vào chiều phân cực sắt điện. Ngược lại, đối với trạng thái phản sắt từ nghiêng của lớp áp từ phản perovskit, thì từ-điện dung là biến thiên theo sự định hướng của sự phân cực sắt điện mà ảnh hưởng đến độ lớn từ hoá ở lớp áp từ. Điều này là do hiện tượng từ bất mãn của vật liệu áp từ phản perovskit mà làm cơ sở cho cái được gọi là sự ghép cặp từ-đàn hồi.

Theo một phương án, bước đo bao gồm bước cấp điện áp xoay chiều vào giữa lớp lưu trữ và lớp phản perovskit và xác định điện kháng và từ đó là từ-điện dung của tế bào nhớ. Theo một phương án, bước đo bao gồm bước xác định độ dịch tần số cộng hưởng của tế bào nhớ.

Theo một phương án, lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt từ và sự phân cực là sự phân cực từ, tức là, sự từ hoá.

Theo một phương án, bước gây ra nêu trên là được thực hiện bằng cách gây ra sự từ hoá ở lớp áp từ phản perovskit đủ mạnh để sự phân cực từ của lớp lưu trữ đồng chỉnh với sự từ hoá của lớp áp từ phản perovskit thông qua sự ghép cặp lưỡng cực. Do đó, vật liệu áp từ phản perovskit này có hai chức năng, vừa cho phép đọc tế bào nhớ, vừa được sử dụng trong thao tác ghi để gây ra sự phân cực ở lớp lưu trữ. Điều này có nghĩa là chỉ cần hai điện cực để thực hiện cả chức năng đọc và chức năng ghi, và không cần tranzito vốn tiêu tốn công suất và không gian.

Theo một phương án, bộ nhớ bất biến này còn bao gồm lớp gây ứng suất, và việc gây ra sự từ hoá ở lớp áp từ phản perovskit là được thực hiện bằng cách gây ra ứng suất ở lớp áp từ phản perovskit nhờ sử dụng lớp gây ứng suất này. Do đó, bằng cách cấp hiệu điện thế vào giữa lớp gây ứng suất (mà có thể là vật liệu áp điện), thì ứng suất có thể được gây ra ở lớp áp từ phản perovskit. Ứng suất ở lớp áp từ phản perovskit làm sinh ra sự phân cực spin từ tính ở lớp áp từ phản perovskit. Từ đó, sự phân cực spin từ tính ở lớp áp từ phản perovskit này gây ra sự từ hoá ở lớp lưu trữ, ví dụ, bởi sự ghép cặp lưỡng cực.

Theo một phương án, bước gây ra nêu trên bao gồm bước gây ra sự từ hoá ở lớp lưu trữ nhờ sử dụng điện cực từ hoá. Điện cực từ hoá đó có thể được dùng để gây ra sự phân cực theo chiều thứ nhất hoặc chiều thứ hai ở lớp lưu trữ của nhiều tế bào nhớ bất biến.

Theo một phương án, bước gây ra nêu trên còn bao gồm bước gây ra ứng suất ở lớp áp từ phản perovskit để nhờ đó làm cho lớp áp từ phản perovskit trở nên thuận từ. Theo phương án này, lớp áp từ phản perovskit là được sử dụng như công tắc để cho phép ghi lên lớp lưu trữ hay không cho phép ghi lên lớp lưu trữ. Nhờ đó, kết hợp với từ trường được tác động từ bên ngoài, thì có thể thu được hệ thống đọc dữ liệu từ và ghi dữ liệu vào tế bào nhớ bất biến này.

Theo một phương án, tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm lớp gây ứng suất, và việc gây ra ứng suất là được thực hiện bởi lớp gây ứng suất này. Do đó, bằng cách cấp hiệu điện thế vào giữa lớp gây ứng suất (mà có thể là vật liệu áp điện), thì ứng suất có thể được gây ra ở lớp áp từ phản perovskit. Việc này có thể được dùng để chuyển lớp áp từ phản perovskit từ vật liệu phản sắt từ thành vật liệu thuận từ. Công

tắc này có thời gian đáp ứng nhanh và độ bền tốt, và có thể được dùng để giữ và không giữ sự phân cực ở lớp lưu trữ.

Theo một phương án, lớp lưu trữ là bao gồm vật liệu sắt điện, và sự phân cực là sự phân cực điện. Theo phương án này, tế bào nhớ bất biến này bao gồm điện cực thứ nhất được nối với lớp áp từ phản perovskit ở phía đối diện với lớp lưu trữ, và điện cực thứ hai được nối với lớp lưu trữ ở phía đối diện với lớp áp từ phản perovskit, và bước gây ra nêu trên bao gồm bước cấp hiệu điện thế vào giữa điện cực thứ nhất và điện cực thứ hai này, và bước đo nêu trên bao gồm bước đo từ-điện dung giữa điện cực thứ nhất và điện cực thứ hai này. Thiết bị đó là cực kỳ đơn giản và gọn, và có thể được vận hành bên trong mảng không có tranzito.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các phương án theo sáng chế sẽ được mô tả làm ví dụ dựa vào và như được thể hiện trên các hình vẽ sau đây:

Fig.1 là hình vẽ thể hiện sơ đồ mạng tinh thể và cấu trúc từ tính của vật liệu áp từ phản perovskit;

Fig.2 là hình vẽ thể hiện đồ thị của trạng thái ứng suất theo trục x so với độ từ hoá thực sinh ra theo trục y khi chọn các vật liệu áp từ phản perovskit khác nhau;

Fig.3 là hình vẽ thể hiện đồ thị trạng thái ứng suất theo trục x so với (nhiệt độ Neel – nhiệt độ Neel tại độ ứng suất bằng không) tính bằng độ Kelvin theo trục y khi chọn các vật liệu áp từ phản perovskit khác nhau;

Fig.4 là hình vẽ thể hiện đồ thị các kết quả được xác định bằng thực nghiệm đối với Mn_3NiN – nhiệt độ Neel và độ từ hoá bão hoà trên trục y dưới dạng hàm theo trạng thái ứng suất trục c trên trục x với độ từ hoá bão hoà được lấy từ các vòng M-H tại 100K;

Fig.5 là hình vẽ thể hiện đồ thị hiệu ứng từ-điện dung của cấu trúc dị chất $\text{Mn}_3\text{GaN}/\text{Ba}_{0,75}\text{Sr}_{0,25}\text{TiO}_3/\text{SrRuO}_3$ trên đế $(\text{LaAlO}_3)_{0,3}(\text{Sr}_2\text{TaAlO}_6)_{0,7}$ ở nhiệt độ phòng;

Fig.6 là hình vẽ thể hiện sơ đồ mặt cắt ngang của tế bào nhớ từ tính bất biến theo phương án thứ nhất;

Fig.7 là hình vẽ thể hiện sơ đồ mặt cắt ngang của tế bào nhớ từ tính bất biến theo phương án thứ hai;

Fig.8 là hình vẽ thể hiện sơ đồ mặt cắt ngang của tế bào nhớ điện bất biến theo phương án thứ ba;

Fig.9 là hình vẽ thể hiện sơ đồ hình phối cảnh của mảng bộ nhớ từ tính hai chiều theo một phương án;

Fig.10 là hình vẽ thể hiện quá trình ghi vào mảng bộ nhớ hai chiều theo phương án thứ nhất (và cũng áp dụng được cho mảng bộ nhớ hai chiều theo phương án thứ ba);

Fig.11 là hình vẽ thể hiện quá trình ghi vào mảng hai chiều theo phương án thứ hai;

Fig.12 là hình vẽ thể hiện quá trình đọc mảng bộ nhớ hai chiều của tất cả ba phương án; và

Fig.13 là hình vẽ thể hiện sơ đồ hình phối cảnh của mảng bộ nhớ từ tính ba chiều theo một phương án.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Sáng chế sử dụng các thuộc tính của các vật liệu phản perovskit dựa trên Mn. Các vật liệu này được biết là có hiệu ứng áp từ. Hiệu ứng áp từ là sự thay đổi về độ từ hoá do việc tác động ứng suất mà được biểu hiện trong trạng thái phản sắt từ nghiêng của các vật liệu phản perovskit dựa trên Mn.

Fig.1a là hình vẽ thể hiện cấu trúc của vật liệu phản perovskit dựa trên Mn trong trạng thái không có ứng suất, trong đó không có độ từ hoá thực nào. Fig.1b là hình vẽ thể hiện trường hợp mà ứng suất kéo được tác động và có sự từ hoá thực sinh ra đối song song với chiều [110], và Fig.1c là hình vẽ thể hiện trường hợp mà ứng suất nén được tác động mà gây ra sự từ hoá thực song song với chiều [110]. Như được thể hiện, khi tác động ứng suất kéo hoặc ứng suất nén thì sự phân cực spin từ tính thực (tức là sự từ hoá) là được sinh ra. Chiều phân cực spin từ tính là ngược lại với chiều ứng suất kéo và ứng suất nén.

Fig.2 là hình vẽ thể hiện đồ thị với trục x là tỷ lệ phần trăm ứng suất mạng tinh thể lưỡng trục và trục y là độ từ hoá sinh ra. Trên Fig.2, sự biến thiên về độ từ

hoá sinh ra là được vẽ đồ thị đối với bốn loại vật liệu phản perovskit khác nhau dựa trên Mn. Như có thể thấy, sự biến thiên lớn nhất về từ trường theo ứng suất là xảy ra đối với Mn_3SnN , với vật liệu nhạy cảm nhất tiếp theo là Mn_3NiN , theo sau là Mn_3InN và sau đó là Mn_3GaN . Cũng được thể hiện là nhiệt độ Neel tại trạng thái ứng suất bằng không phần trăm, được quan sát bằng thực nghiệm đối với dạng khối của các vật liệu đó. Bên trên nhiệt độ Neel, thì các vật liệu trở nên thuận từ thay vì phản sắt từ, nên hiệu ứng thay đổi sự phân cực spin từ tính theo ứng suất sinh ra là không được quan sát thấy. Các kết quả trên Fig.2 là các kết quả mô phỏng đã được công nhận bằng thực nghiệm đối với Mn_3NiN (xem Fig.4, mà thể hiện nhiệt độ Neel và độ từ hoá bão hoà trên trục y dưới dạng hàm của ứng suất trục c trên trục x với độ từ hoá bão hoà được lấy từ các vòng M-H tại 100K).

Các tác giả sáng chế đã phát hiện thấy rằng nhiệt độ Neel của các vật liệu phản perovskit dựa trên Mn là thay đổi mạnh theo ứng suất sinh ra. Độ nhạy của nhiệt độ Neel với ứng suất sinh ra là được thể hiện trên Fig.3, trong đó trạng thái ứng suất là được vẽ đồ thị theo trục x, và độ lệch của nhiệt độ Neel từ giá trị của nó tại ứng suất bằng không là được thể hiện bằng độ Kelvin theo trục y đối với ba vật liệu phản perovskit khác nhau dựa trên Mn. Các kết quả được thể hiện trên Fig.3 là dựa trên các phép tính lý thuyết mà đã được biết là ước tính quá cao nhiệt độ Neel (sử dụng phép tính gần đúng trường trung bình KKR-DLM (mã cơ học lượng tử được phát triển chủ yếu bởi giáo sư J B Staunton tại trường đại học Warwick)). Tuy các giá trị của nhiệt độ Kelvin không biểu thị những gì được quan sát thấy bằng thực nghiệm, nhưng những sự biến thiên về nhiệt độ Neel là chỉ thị về những gì được quan sát thấy bằng thực nghiệm. Như có thể thấy, cả Mn_3NiN và Mn_3GaN đều biểu hiện nhiệt độ Neel tại xấp xỉ nhiệt độ môi trường (tại ứng suất bằng không phần trăm thì các nhiệt độ Neel lần lượt là 240K (như có thể thấy trên Fig.4) và 300K, như được xác định bằng thực nghiệm). Sự thay đổi trạng thái ứng suất ở vật liệu phản perovskit dựa trên Mn này có thể được dùng để thay đổi các thuộc tính của vật liệu phản perovskit dựa trên Mn này từ áp từ (dưới nhiệt độ Neel) sang thuận từ (trên nhiệt độ Neel). Các kết quả về sự phụ thuộc của nhiệt độ Neel và độ từ hoá sinh ra trên ứng suất ở Mn_3NiN đã được công nhận bằng thực nghiệm (Fig.4).

Fig.5 là hình vẽ thể hiện hiệu ứng từ-điện dung đo được của cấu trúc dị chất $\text{Mn}_3\text{GaN}/\text{Ba}_{0,75}\text{Sr}_{0,25}\text{TiO}_3/\text{SrRuO}_3$ trên đế $(\text{LaAlO}_3)_{0,3}(\text{Sr}_2\text{TaAlO}_6)_{0,7}$ ở nhiệt độ phòng. Hiệu ứng từ-điện dung trên 1400% dưới từ trường 7T đã thu được bằng cách cấp thiên áp 1,5V DC (Direct Current - một chiều) giữa điện cực đáy (SrRuO_3) và điện cực đỉnh bằng Au. Sự thay đổi về điện dung của $\text{Ba}_{0,75}\text{Sr}_{0,25}\text{TiO}_3$ là do ứng suất mặt phân giới gây ra bởi hiệu ứng áp từ (ngược) của lớp Mn_3GaN dưới từ trường này. Lưu ý rằng hiệu ứng từ-điện dung tại thiên áp 0V DC là nhỏ hơn nhiều so với hiệu ứng từ-điện dung tại thiên áp 1,5V DC. Từ-điện dung lớn này làm cơ sở cho cơ chế đọc.

Các tác giả sáng chế đã phát triển các tế bào NVM trên cơ sở các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.5 mà thể hiện các thuộc tính của các vật liệu phản perovskit dựa trên Mn.

Theo phương án thứ nhất và phương án thứ hai, thì tế bào nhớ bất biến lợi dụng các thuộc tính của vật liệu áp từ phản perovskit dựa trên Mn được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.2 đến Fig.5. Fig.6 và Fig.7 là các hình vẽ thể hiện sơ đồ mặt cắt ngang của các tế bào nhớ từ tính bất biến theo phương án thứ nhất và phương án thứ hai. Các tế bào NVM này bao gồm lớp lưu trữ 10 mà dữ liệu có thể được ghi ở đó. Lớp lưu trữ 10 này có thể bao gồm vật liệu sắt từ. Theo cách này, thì dữ liệu là có thể ghi được dưới dạng chiều từ hoá.

Lớp áp từ 20 cũng được cung cấp. Lớp áp từ 20 này bao gồm vật liệu áp từ phản perovskit, được ưu tiên là vật liệu áp từ phản perovskit dựa trên Mn. Tuỳ theo ứng suất ở lớp áp từ 20 mà lớp áp từ 20 sẽ có, theo cách có lựa chọn, kiểu hiệu ứng thứ nhất trên lớp lưu trữ 10 (ví dụ, khi có ứng suất nén hoặc ứng suất kéo), và kiểu hiệu ứng thứ hai trên lớp lưu trữ 10 (ví dụ, khi ứng suất kéo hoặc ứng suất nén là nhỏ hoặc bằng không).

Lớp gây ứng suất 30 được bố trí để gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 để nhờ đó chuyển từ kiểu hiệu ứng thứ nhất sang kiểu hiệu ứng thứ hai.

Điện cực thứ nhất 50 được bố trí ở một phía của lớp lưu trữ 10 đối diện với lớp áp từ 20. Điện cực thứ hai 60 được bố trí ở một phía của lớp gây ứng suất 30 đối diện với lớp áp từ 20. Các lớp 20, 30, và 60 này tạo thành tụ điện phẳng có hiệu ứng

từ-điện dung được dùng để đọc ra, chỉ bằng điện và theo cách không phá huỷ, thông tin được lưu giữ (như được mô tả dưới đây).

Bằng cách cấp điện áp vào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 thì ứng suất có thể được sinh ra ở lớp gây ứng suất 30. Ứng suất gây ra bởi hiệu điện thế giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 ở lớp gây ứng suất 30 được truyền sang lớp áp từ 20. Như được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.2 đến Fig.5, việc gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 làm thay đổi thuộc tính của lớp áp từ 20 xét về mặt độ từ hoá của nó và/hoặc xét về mặt nhiệt độ Neel của nó. Sự thay đổi về thuộc tính của lớp áp từ 20 có hiệu ứng (ví dụ, kiểu hiệu ứng thứ nhất) trên lớp lưu trữ 10 mà là hiệu ứng khác (ví dụ, kiểu hiệu ứng thứ hai) tùy theo trạng thái ứng suất ở lớp áp từ 20.

Theo một phương án, lớp áp từ 20 được trồng với sự định hướng (001) được đồng chỉnh vuông góc với mặt phẳng của lớp gây ứng suất 30 và lớp lưu trữ 10. Điều này bảo đảm sự tăng trưởng epitaxi tốt, sự hình thành cấu trúc từ tính được thể hiện trên Fig.1, độ ổn định cơ học tốt, sự không khớp mạng nhỏ với lớp sắt điện 30, và sự thay đổi tối đa về thuộc tính (là độ từ hoá theo phương án thứ nhất hoặc nhiệt độ Neel theo phương án thứ hai) đối với ứng suất trong mặt phẳng cụ thể.

Lớp gây ứng suất 30 có thể là vật liệu áp điện, ví dụ, vật liệu sắt điện. Theo một phương án, lớp gây ứng suất 30 có cấu trúc perovskit hoặc cấu trúc phản perovskit. Ví dụ, lớp gây ứng suất có thể là vật liệu $(\text{Ba/Sr})\text{TiO}_3$. Việc có cấu trúc perovskit có thể là có lợi bởi vì nhờ đó có thể đạt được mặt phân giới được xác định rõ và sự ghép cặp đàn hồi mạnh giữa lớp gây ứng suất 30 và lớp áp từ 20. Mặt phân giới tinh thể rõ ràng sẽ cho phép đạt được tuổi thọ dài của tế bào nhớ bất biến và truyền phần lớn ứng suất sinh ra ở lớp gây ứng suất 30 sang lớp áp từ 20. Đặc biệt là trong trường hợp phương án thứ nhất, thì sự không khớp mạng thấp giữa lớp gây ứng suất 30 và lớp áp từ 20 là được mong muốn. Điều này là vì, khi không có hiệu điện thế nào được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60, thì mong muốn là có rất ít hoặc không có ứng suất nào ở lớp áp từ 20. Khi không có hiệu điện thế nào được cấp, thì không có độ từ hoá (hoặc có độ từ hoá nhỏ gây ra bởi sự phân cực điện tự phát của lớp gây ứng suất sắt điện liền kề hoặc ứng suất dư do sự không khớp mạng giữa lớp gây ứng suất 30 và lớp áp từ 20) của lớp áp từ 20 và mong muốn là có

độ từ hoá càng thấp càng tốt ở lớp áp từ 20 theo phương án thứ nhất khi không có hiệu điện thế nào được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60. Sự không khớp bất kỳ giữa lớp gây ứng suất 30 và lớp áp từ 20 có thể gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 khi không có hiệu điện thế nào được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60. Miễn là độ từ hoá bất kỳ ở lớp áp từ 20, khi không có hiệu điện thế nào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60, gây ra từ trường ở lớp lưu trữ 10 mà thấp hơn trường kháng từ của lớp lưu trữ 10, thì điều đó là chấp nhận được.

Hằng số mạng của lớp gây ứng suất 30 và lớp áp từ 20 (và giữa các lớp khác) là có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi các điều kiện nuôi trồng và hợp phần (như được mô tả dưới đây). Theo cách này, thì sự không khớp mạng giữa các lớp khác nhau là có thể được điều chỉnh. Mong muốn là sự không khớp mạng giữa lớp lưu trữ 10 và lớp áp từ 20 và/hoặc giữa lớp áp từ 20 và lớp gây ứng suất 30 và/hoặc giữa điện cực thứ nhất 50 hoặc điện cực thứ hai 60 với lớp liền kề của nó, là nhỏ hơn 1%, mong muốn hơn là nhỏ hơn 0,5%. Điều này không chỉ cho phép tạo ra thiết bị có tuổi thọ dài và các thuộc tính được mong muốn khác, như đã được mô tả ở đâu đó nữa, mà còn có nghĩa là có thể phát triển mảng tế bào nhớ hai chiều hay thậm chí là ba chiều mà mở rộng theo chiều ngang và theo chiều đứng và có độ bền cao.

Sự hoạt động của phương án thứ nhất theo sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dựa vào Fig.6. Phương án trên Fig.6 áp dụng nguyên lý được thể hiện trên Fig.2. Tức là, để ghi dữ liệu vào lớp lưu trữ 10, thì hiệu điện thế được cấp vào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 theo chiều nhất định, để làm co hoặc làm giãn lớp gây ứng suất 30 và từ đó tác động ứng suất nén hoặc ứng suất kéo ở lớp áp từ 20. Khi ứng suất được sinh ra ở lớp áp từ 20, thì sự từ hoá sẽ phát triển ở lớp áp từ 20 với chiều tùy theo việc ứng suất là kéo hay nén. Thông qua sự ghép cặp lưỡng cực giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10, thì sự từ hoá tự phát của lớp lưu trữ 10 sẽ được chuyển theo chiều từ hoá của lớp áp từ 20 theo kiểu hiệu ứng thứ nhất. Theo cách này, chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10 có thể được thay đổi bằng cách cấp hiệu điện thế dương hoặc âm giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60.

Khi hiệu điện thế giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 được loại bỏ, thì lớp gây ứng suất 30 trở về hình dạng ban đầu của nó và trạng thái ứng suất ở

lớp áp từ 20 cũng trở về mức độ ban đầu của nó (gần bằng không, đặc biệt là nếu có sự không khớp mạng thấp giữa lớp áp từ 20 và lớp gây ứng suất 30). Kết quả là, không có độ từ hoá nào còn lại ở lớp áp từ khi hiệu điện thế giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 đã được loại bỏ.

Với độ từ hoá không đáng kể ở lớp áp từ 20, và giả sử rằng không có hiệu ứng thiên áp trao đổi giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10, thì độ từ hoá của lớp lưu trữ 10 sẽ được giữ cố định bởi sự dị hướng từ (trường kháng từ) của lớp lưu trữ sắt từ (giả sử không có từ trường ngoài), và đây là kiểu hiệu ứng thứ hai.

Theo một phương án, để tránh thiên áp trao đổi giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10, thì lớp phi từ tính 15 (bằng kim loại) có thể được bố trí giữa lớp lưu trữ 10 và lớp áp từ 20. Lớp phi từ tính 15 này có thể tương đối mỏng (khoảng nano mét). Đối với lớp mỏng đó, thì hằng số mạng của vật liệu sẽ khớp với của các lớp liền kề (lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10) nên không có ứng suất nào bị gây ra bởi sự hiện hữu của lớp phi từ tính 15 này. Lớp phi từ tính 15 này ngăn chặn thiên áp trao đổi giữa lớp lưu trữ 10 và lớp áp từ 20. Việc ngăn chặn thiên áp trao đổi giữa hai lớp đó có nghĩa là, khi sự từ hoá ở lớp áp từ 20 được loại bỏ, thì độ từ hoá bất kỳ ở lớp lưu trữ 10 là không bị ảnh hưởng.

Ngay cả khi có độ từ hoá nhỏ còn lại ở lớp áp từ 20 sau khi loại bỏ hiệu điện thế giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60, miễn là từ trường bất kỳ tác động lên lớp lưu trữ 10, mà do sự từ hoá của lớp 20, là thấp hơn trường kháng từ của lớp lưu trữ 10, thì sẽ không xảy ra sự thay đổi độ từ hoá nào của lớp lưu trữ 10. Do đó, phương án thứ nhất sử dụng sự dị hướng từ (là sự kết hợp của sự dị hướng từ-tinh thể và sự dị hướng hình dạng) của vật liệu sắt từ của lớp lưu trữ 10. Các kích thước ngang của mỗi bit nhớ là nhỏ hơn các độ lớn đômên từ thông thường, nên lớp lưu trữ 10 được giả định là nằm trong trạng thái đômên đơn mà trong đó các trường kháng từ được xác định bởi sự dị hướng từ.

Để thay đổi dữ liệu (chiều từ hoá) được lưu ở lớp lưu trữ 10, thì hiệu điện thế ngược chiều so với hiệu điện thế được cấp trước đó sẽ được cấp vào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60. Điều này gây ra ứng suất kéo hoặc ứng suất nén ngược lại ở lớp gây ứng suất 30 và nhờ đó là ở lớp áp từ 20, nên xuất hiện sự từ hoá

ngược chiều. Nhờ đó, thông qua sự ghép cặp lưỡng cực, thì chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10 được thay đổi.

Theo phương án thứ nhất, thì vật liệu áp từ phản perovskit được ưu tiên là Mn_3SnN hoặc dựa trên Mn_3SnN vì vật liệu này, theo Fig.2, có từ trường sinh ra thay đổi lớn nhất theo ứng suất. Vật liệu này có thể được tối ưu hoá để có thông số mạng và các thuộc tính áp từ mong muốn, bằng cách thay đổi thành phần hoá học của nó, ví dụ, $\text{Mn}_{3-x}\text{A}_x\text{Sn}_{1-y}\text{B}_y\text{N}_{1-z}$ trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn. Nó cũng có thể được trích xuất từ vật liệu phản perovskit khác không phải là Mn_3SnN . Nói chung, nó có thể là bất kỳ vật liệu nào có hiện tượng áp từ ở nhiệt độ phòng và sự khớp mạng tốt với các lớp còn lại.

Theo một phương án, lớp áp từ 20 là tiếp xúc với bề mặt của lớp gây ứng suất 30. Theo một phương án, lớp phi từ tính 15 là tiếp xúc với lớp áp từ 20. Theo một phương án, lớp lưu trữ 10 là tiếp xúc với lớp phi từ tính 15. Theo một phương án, điện cực thứ nhất 50 là tiếp xúc với lớp lưu trữ 10. Theo một phương án, điện cực thứ hai 60 là tiếp xúc với lớp gây ứng suất 30.

Theo một phương án, lớp lưu trữ 10 là vật liệu perovskit hoặc vật liệu phản perovskit, ví dụ, Co_3FeN . Lớp gây ứng suất 30 có thể được tạo ra trên điện cực mà bản thân nó là được tạo ra trên đế, ví dụ, đế MgO , SrTiO_3 , Nb:SrTiO_3 hoặc Si. Theo một phương án, để có các thông số mạng khớp với các thông số mạng của điện cực và lớp gây ứng suất 30. Theo một phương án, đế (ví dụ Nb:SrTiO_3 hoặc Si được pha tạp), mà trên đó các lớp được trồng, là có thể được dùng làm điện cực, và không cần điện cực riêng biệt.

Điện cực thứ nhất 50 có thể được làm từ kim loại hoặc perovskit dẫn, chẳng hạn Nb:SrTiO_3 hoặc SrRuO_3 . Điện cực thứ hai 60 có thể được làm từ Nb:SrTiO_3 hoặc SrRuO_3 .

Để đọc dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ 10, thì hiệu ứng từ-điện dung được sử dụng. Thuộc tính nữa của các vật liệu áp từ phản perovskit là ở chỗ độ cứng của chúng thay đổi do từ trường có mặt trong chúng do sự ghép cặp từ-đàn hồi. Sự hiện hữu của sự từ hoá ở lớp lưu trữ 10 gây ra từ trường ở lớp áp từ 20 ngay cả với ứng suất bằng không. Từ trường ở lớp áp từ 20 gây ra sự thay đổi về sự đàn hồi của lớp

áp từ 20 so với khi không có từ trường ở lớp áp từ 20. Sự thay đổi về sự đàn hồi ở lớp áp từ 20 có thể được đo dưới dạng sự thay đổi về từ-điện dung của tụ điện được tạo thành bởi các lớp 20, 30, và 60. Sự thay đổi về từ-điện dung này là bất đối xứng, có nghĩa là điện dung đo được là khác nhau đối với hai sự đồng chỉnh từ hoá ngược nhau ở lớp lưu trữ 10. Do đó, bằng cách đo từ-điện dung của tụ điện được tạo thành bởi các lớp 20, 30, và 60, thì có thể xác định chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10. Nhờ đó, bằng cách đo từ-điện dung giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60, thì chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10 có thể được xác định.

Một cách để đo từ-điện dung giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 là cấp điện áp xoay chiều vào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 và đo sự đáp ứng (điện kháng). Việc này sẽ được mô tả tiếp dưới đây dựa vào Fig.10.

Nhờ đó, chỉ với hai điện cực, thì có thể vừa ghi vào lớp lưu trữ 10 vừa đọc từ lớp lưu trữ 10 mà không cần tranzito và không cần điện cực thứ ba hoặc thêm các điện cực. Điều này là được mong muốn, vì các thiết kế của các bộ nhớ hai chiều hoặc ba chiều mà bao gồm nhiều tế bào nhớ bất biến theo sáng chế là khả thi và có thiết kế đặc biệt gọn và đơn giản.

Phương án thứ hai sẽ được mô tả dựa vào Fig.7. Phương án thứ hai là giống như phương án thứ nhất, ngoại trừ phần được mô tả dưới đây.

Phương án thứ hai dựa vào động thái của lớp áp từ 20 như được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.3 đến Fig.5. Tức là, thuộc tính của lớp áp từ 20 là được chuyển từ động thái phản sắt từ (kiểu hiệu ứng thứ hai) sang động thái thuận từ (kiểu hiệu ứng thứ nhất) bằng cách gây ra ứng suất trong nó (và nhờ đó thay đổi nhiệt độ Neel xuống dưới nhiệt độ mà lớp áp từ 20 trải qua). Theo phương án thứ hai, thì lớp phi từ tính 15 của phương án thứ nhất là được lược bỏ. Kết quả là, tồn tại thiên áp trao đổi giữa lớp lưu trữ 10 và lớp áp từ 20 khi lớp áp từ là phản sắt từ (ví dụ, khi không có hiệu điện thế nào được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60).

Khi có hiệu điện thế được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60, thì ứng suất gây ra bởi lớp gây ứng suất 30 ở lớp áp từ 20 có tác dụng giảm nhiệt độ Neel của lớp áp từ 20 để lớp áp từ phản perovskit 20 trở nên thuận từ. Khi lớp áp từ 20 là thuận từ, thì không có thiên áp trao đổi nào tồn tại giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10. Tuy nhiên, khi lớp áp từ 20 là phản sắt từ (ví dụ, sau khi hiệu điện thế

được tắt đi), thì có thiên áp trao đổi tồn tại giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10. Khi có thiên áp trao đổi tồn tại giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10, thì chiều từ hoá của lớp lưu trữ 10 là được cố định, ngay cả khi có từ trường với cường độ lớn hơn trường kháng từ. Lớp 20 có thể cố định sự từ hoá của lớp 10 ở ít nhất hai chiều khác nhau tùy theo trạng thái từ tính của lớp 10 hiện hữu khi lớp 20 trở nên phản sắt từ.

Nhờ đó, phương án thứ hai cấp hiệu điện thế vào giữa lớp thứ nhất 50 và lớp thứ hai 60 để gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 (thông qua lớp gây ứng suất 30) để thay đổi các thuộc tính của lớp áp từ 20 giữa tính phản sắt từ nghiêng và tính thuận từ. Khi lớp áp từ 20 là thuận từ, thì có thể thay đổi chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10. Điều này có thể được thực hiện, ví dụ, nhờ sử dụng từ trường ngoài. Nhằm mục đích này thì, ví dụ, ít nhất một điện cực bổ sung 70 để gây ra từ trường, hoặc lớp được từ hoá vuông góc 70, có thể được bố trí. Các điện cực bổ sung 70 riêng lẻ có thể tác động toàn bộ lên hai hoặc nhiều tế bào nhớ, hoặc cục bộ vào một tế bào nhớ. Theo cách khác, lớp bổ sung có sự từ hoá không đổi và vuông góc với sự từ hoá của lớp lưu trữ 10 là được bao gồm để gây ra sự chuyển tiến động của sự từ hoá của lớp lưu trữ 10 khi nó trở nên không bị giữ trong nửa chu kỳ tiến động của nó. Cơ chế bổ sung này là có lợi theo phương án mà trong đó vật liệu áp từ 20 được làm thuận từ trong thủ tục ghi để nhả giữ lớp lưu trữ 10. Bằng cách gây ra từ trường ở lớp lưu trữ 10 nhờ sử dụng điện cực 70, thì chiều từ hoá của lớp lưu trữ 10 có thể được thay đổi. Sau khi chiều từ hoá ở lớp lưu trữ 10 đã được thay đổi, để nhờ đó ghi dữ liệu vào lớp lưu trữ 10, thì hiệu điện thế mà được cấp giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 là được loại bỏ. Nhờ đó, nhiệt độ Neel của lớp áp từ 20 được nâng lên trên nhiệt độ môi trường để lớp áp từ 20 hoạt động như chất phản sắt từ. Khi lớp áp từ 20 hoạt động như chất phản sắt từ, thì chiều từ hoá (trong trường hợp này là sự phân cực spin từ tính) của lớp lưu trữ 10 là được cố định do sự tương tác thiên áp trao đổi giữa lớp áp từ 20 và lớp lưu trữ 10. Nhờ đó, ngay cả khi điện cực từ hoá 70 được dùng để ghi thông tin vào tế bào nhớ bất biến liền kề và từ trường kéo dài vào lớp lưu trữ 10 của tế bào nhớ đang xét, thì chiều từ hoá của lớp lưu trữ 10 của tế bào nhớ đang xét cũng sẽ không bị thay đổi.

Theo phương án thứ hai, thì dữ liệu là được đọc từ tế bào nhớ bất biến theo cách giống như phương án thứ nhất, nhờ sử dụng hiệu ứng từ-điện dung. Tuy nhiên

trong trường hợp này, thì chiều từ hoá ở lớp lưu trữ là được đảo chiều bằng cách tác động ứng suất dưới TN vào lớp 20 và sau đó, sau khi lớp lưu trữ 10 được đảo chiều, thì tác động xung ứng suất nhanh để làm cho lớp áp từ 20 trở nên thuận từ và nhờ đó thiết đặt lại chiều giữ mà không làm thay đổi chiều từ hoá mới của lớp lưu trữ 10.

Theo phương án thứ hai, thì vật liệu áp từ phản perovskit được ưu tiên nhất là Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , hoặc các vật liệu dựa trên Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , chẳng hạn như $Mn_{3-x}A_xGa_{1-y}B_yN_{1-z}$ hoặc $Mn_{3-x}A_xNi_{1-y}B_yN_{1-z}$, trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn, vì các vật liệu này có nhiệt độ Neel khi ứng suất bằng không là gần như bằng nhiệt độ môi trường và nhiệt độ mà tại đó bộ nhớ hoạt động. Tốt hơn nếu vật liệu áp từ này có nhiệt độ Neel biến thiên theo trạng thái ứng suất, và trong đó, nhiệt độ Neel này vượt quá 293K khi ứng suất được làm biến thiên từ + 30% đến -30%, được ưu tiên là + 10% đến -10%, tốt nhất là +1% đến -1%. Nếu vật liệu đó được sử dụng thì không cần làm nóng hay làm mát tế bào nhớ bất biến, vì sự thay đổi nhiệt độ Neel có thể được thực hiện ở nhiệt độ môi trường.

Phương án thứ ba sẽ được mô tả dựa vào Fig.8. Phương án thứ ba này là giống như phương án thứ nhất và phương án thứ hai, ngoại trừ phần được mô tả dưới đây. Theo phương án thứ ba, thì tế bào nhớ bất biến này bao gồm các lớp hoàn toàn giống như tế bào của phương án thứ hai, ngoại trừ các lớp 10 và 70 vốn không cần thiết. Thay vào đó, thông tin được lưu giữ ở lớp sắt điện 30.

Theo phương án thứ ba, thì lớp lưu trữ là lớp sắt điện 30 (như ở phương án thứ nhất và phương án thứ hai, nhưng thuộc tính áp điện bổ sung lúc này là không cần thiết) mà trong đó dữ liệu có thể được ghi dưới dạng chiều phân cực điện. Dữ liệu có thể được ghi vào tế bào nhớ điện bất biến bằng cách cấp hiệu điện thế vào giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60. Việc này có thể làm chuyển sự phân cực điện ở lớp sắt điện 30, tùy theo cực tính của hiệu điện thế được cấp. Sự phân cực điện sẽ vẫn còn ngay cả khi hiệu điện thế giữa điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 được loại bỏ, do sự trễ điện của vật liệu sắt điện.

Sự phân cực điện ở lớp sắt điện 30 gây ra mômen từ ở lớp áp từ 20. Mômen từ này gây ra sự thay đổi từ-diện dung của tụ điện được tạo thành bởi các lớp 20, 30, và 60 mà có thể được đo theo cách giống như ở phương án thứ nhất và phương án

thứ hai. Cũng như ở phương án thứ nhất và phương án thứ hai, từ-điện dung xác định được là có thể liên quan đến chiều phân cực (là điện trong trường hợp phương án thứ ba). Nhờ đó, dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ 30 có thể được đọc.

Việc đọc và ghi các bit nhớ trong mảng $N \times N$ có hình dạng hình học thanh ngang thanh dọc là có thể được thực hiện theo cách không phá huỷ và không cần tranzito tại mỗi bit, theo các bước giống như trong trường hợp phương án thứ nhất và phương án thứ hai, như được mô tả dưới đây dựa vào các hình vẽ từ Fig.9 đến Fig.12.

Tất cả các phương án đều chống chịu được sự mỏi của kết cấu và tốt hơn nhiều lần về mặt này so với bộ nhớ flash thông thường. Phương án thứ nhất và phương án thứ hai chống chịu được sự mỏi của kết cấu thậm chí còn tốt hơn so với phương án thứ ba.

Theo phương án thứ ba, lớp sắt điện 30 có thể tiếp xúc với lớp áp từ 20. Theo một phương án, lớp sắt điện 30 là được tạo ra từ vật liệu sắt điện perovskit (ví dụ, PbTiO_3 , SrTiO_3 , BaTiO_3 , $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$, $\text{Ba}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{TiO}_3$). Lớp áp từ 20 có thể được tạo ra từ vật liệu phản perovskit bất kỳ dựa trên Mn, chẳng hạn Mn_3SnN , Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , hoặc các vật liệu dựa trên Mn_3SnN , Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , như đã mô tả trên đây.

Các tế bào nhớ bất biến theo sáng chế có ưu điểm là dễ dàng được kết hợp vào các mảng hai chiều hoặc ba chiều.

Fig.9 là hình vẽ thể hiện sơ đồ hình phối cảnh của mảng tế bào nhớ từ tính hai chiều theo một phương án. Như có thể thấy, các tế bào nhớ bất biến theo phương án thứ nhất hoặc phương án thứ hai được đặt thành mảng hai chiều. Điện cực thứ nhất 50 và điện cực thứ hai 60 là có dạng các dải. Các điện cực thứ nhất và các điện cực thứ hai kéo dài theo các chiều vuông góc nhau, và mỗi điện cực được nối với nhiều tế bào nhớ kéo dài theo chiều dài của điện cực 50, 60. Nhờ đó, mỗi tế bào nhớ là có thể đánh địa chỉ được một cách riêng rẽ bằng cách cấp hiệu điện thế vào giữa các điện cực 50 mà kéo dài theo chiều thứ nhất và các điện cực thứ hai 60 mà kéo dài theo chiều vuông góc, như đã mô tả trên đây đối với mỗi phương án (Fig.10 và Fig.11 lần lượt thể hiện chi tiết về hiệu điện thế được cấp theo các phương án thứ nhất & thứ ba và phương án thứ hai). Theo cách này, thì bộ nhớ bất biến hai chiều

được bó dày đặc là có thể được lắp ráp mà trong đó các tế bào nhớ riêng lẻ là có thể được đánh địa chỉ một cách riêng rẽ và trong đó không cần tranzito nào để đọc hoặc ghi dữ liệu vào các tế bào nhớ riêng lẻ này.

Như đã mô tả trên đây, theo phương án thứ nhất, thì độ từ hoá của lớp lưu trữ 10 là vẫn được khoá bởi trường kháng từ song song (trạng thái 1) hoặc đối song (trạng thái 0) với độ từ hoá nhỏ của lớp áp từ 20. Mỗi trạng thái đồng chỉnh đều dẫn đến một trạng thái từ tính khác của lớp áp từ 20 và nhờ đó dẫn đến các thuộc tính đàn hồi khác nhau mà có thể dò được bằng phép đo từ-điện dung. Cơ chế ghi này cho phép đánh địa chỉ các bit riêng lẻ được tích hợp trong mảng cỡ $N \times N$ mà trong đó mỗi bit được nối với một trong số N dây dẫn đỉnh và một trong số N dây dẫn đáy. Tập hợp dây dẫn đỉnh và đáy này là vuông góc nhau (hình dạng hình học thanh ngang thanh dọc), như được thể hiện trên Fig.9. Fig.10 là hình vẽ thể hiện cách thức ghi trạng thái của bit nhớ của tế bào nhớ theo phương án thứ nhất (cũng các nguyên lý này là áp dụng cho phương án thứ ba, nhưng với cấu trúc phân lớp khác). Các điện thế DC là V_{top} và V_g được cấp vào các dây dẫn đỉnh và các dây dẫn đáy mà lần lượt tiếp xúc với tế bào nhớ đang xét. Điện thế DC nhỏ hơn (ví dụ, $V_{top}/3$) được cấp vào phần còn lại của các dây dẫn đỉnh, và, ví dụ, $2 \cdot V_{top}/3$ là được cấp vào phần còn lại của các dây dẫn đáy. Điều này gây ra điện áp lớn (V_{top} , trong đó $V_g=0$ là đất) tại bit nhớ đang xét, để gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 mà về phần mình, nó gây ra sự từ hoá đủ lớn để thắng trường kháng từ của lớp lưu trữ 10 và chuyển sự từ hoá của nó. Tất cả các tế bào nhớ riêng lẻ còn lại của mảng là được cấp điện áp chỉ bằng một phần ba ($2 \cdot V_{top}/3 - V_{top}/3 = V_{top}/3$) so với điện áp chuyển mạch (V_{top}) nên trạng thái của chúng không bị ảnh hưởng (điện áp dưới ngưỡng được thiết đặt bởi trường kháng từ).

Để đọc thông tin, như được thể hiện trên Fig.12, thì một điện áp AC nhỏ được cấp vào các tấm của tụ điện (lớp áp từ 20 và lớp tiếp xúc đáy 60) và không đủ lớn để gây ra ứng suất mà có thể thay đổi trạng thái từ tính của lớp lưu trữ 10 nhưng cho phép đo điện kháng và nhờ đó cho phép đo điện dung của bit nhớ. Điện dung này phụ thuộc vào độ điện thẩm tương đối và các kích thước của lớp gây ứng suất cách ly 30, mà về phần mình, nó phụ thuộc vào các thuộc tính đàn hồi của lớp áp từ 20, mà phụ thuộc vào sự đồng chỉnh của sự từ hoá ở lớp lưu trữ 10 (hoặc 30 trong tình

huống 3). Cơ chế đọc này cho phép đánh địa chỉ các bit riêng lẻ được tích hợp trong mảng $N \times N$ đã mô tả trên đây. Để đọc một bit nhớ, thì điện áp AC được cấp vào các dây dẫn đỉnh và các dây dẫn đáy mà tiếp xúc với bit nhớ liên quan đó, và điện áp AC có pha ngược lại được cấp vào tất cả các dây dẫn không tiếp xúc với bit nhớ liên quan đó. Nhờ đó, tại thời điểm bất kỳ, thì điện áp tại bit bất kỳ mà được nối với cùng các dây dẫn với bit nhớ liên quan là bằng không, và điện áp tại bit bất kỳ khác là có cùng độ lớn nhưng cực tính ngược với điện áp tại bit nhớ đang xét. Do đó, điện dung của bit nhớ đang xét là có thể được đọc mà không bị ảnh hưởng bởi tín hiệu từ các bit khác mà được nối với cùng các dây dẫn, và không làm ảnh hưởng đến trạng thái nhớ của bit nào (đọc ra không mang tính phá huỷ).

Theo cách khác, sự khác biệt về từ-điện dung giữa hai trạng thái từ tính của lớp áp từ là có thể được xác định dưới dạng độ dịch tần số cộng hưởng của mạch mà trong đó một tế bào nhớ là tụ điện và cuộn cảm là nằm trong khối điều khiển bên ngoài mảng bộ nhớ này.

Để ghi trạng thái của bit nhớ cụ thể theo phương án thứ hai vào mảng $N \times N$ với hình dạng hình học thanh ngang thanh dọc như đã mô tả trên đây, thì các điện thế DC là V_{top} và V_g được cấp lần lượt vào các dây dẫn đỉnh và các dây dẫn đáy mà tiếp xúc với bit nhớ cụ thể đó, như được thể hiện trên Fig.11. Điện áp ngược được cấp vào tất cả các dây dẫn không tiếp xúc với bit nhớ cụ thể đó (V_{top} vào các dây dẫn đáy và V_g vào các dây dẫn đỉnh). Điều này gây ra điện áp lớn ($V_{\text{top}} - V_g$) tại bit nhớ cụ thể đó và gây ra ứng suất ở lớp áp từ 20 để làm cho lớp đó trở nên thuận từ để bit nhớ cụ thể này là có thể ghi được bởi từ trường ngoài (không được thể hiện trên Fig.11). Tất cả các bit nhớ còn lại của mảng là được cấp điện áp bằng không hoặc cùng điện áp với cực tính ngược ($V_g - V_{\text{top}}$) nên nhiệt độ Neel của chúng thậm chí cao hơn nhiệt độ môi trường, và độ từ hoá của lớp lưu trữ của chúng là được cố định.

Việc đọc trong mảng $N \times N$ theo phương án thứ hai là giống như trường hợp phương án thứ nhất và phương án thứ ba đã mô tả dựa vào Fig.12.

Theo phương án thứ ba, thì việc ghi là được thực hiện bằng cách cấp điện áp DC như trong trường hợp phương án thứ nhất. Tuy nhiên lần này, điện áp phải đủ lớn để làm chuyển sự phân cực sắt điện của bit được chọn giữa chiều thứ nhất và chiều thứ hai ở lớp sắt điện 30 để nhờ đó ghi dữ liệu vào tế bào nhớ, sự phân cực sắt

điện của lớp sắt điện 30 theo chiều thứ nhất gây ra trạng thái từ tính thứ nhất ở lớp áp từ phản perovskit 20, và sự phân cực sắt điện của lớp sắt điện 30 theo chiều thứ hai gây ra trạng thái từ tính thứ hai ở lớp áp từ phản perovskit 20; điện áp được cấp vào phần còn lại của các bit là không đủ để làm chuyển sự phân cực điện của chúng; sau đó, điện áp này được loại bỏ mà không làm ảnh hưởng đến sự phân cực sắt điện này. Phương pháp đọc này bao gồm các bước là: điện áp AC được cấp vào mảng bộ nhớ 2D theo kiểu phương án thứ nhất như được thể hiện trên Fig.12, để đo từ-điện dung của tế bào nhớ được chọn, điện áp mà được cấp tại thời điểm bất kỳ vào phần còn lại của các tế bào mà được nối với cùng các dây dẫn là bằng không. Từ-điện dung của bit nhớ được chọn trong trạng thái từ tính thứ nhất là khác so với trong trạng thái từ tính thứ hai của lớp áp từ, nhờ đó cho phép đọc dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ.

Đối với tất cả các phương án, do sự không khớp mạng thấp giữa các lớp riêng lẻ, nên có thể xây dựng mảng bộ nhớ ba chiều nhờ sử dụng các nguyên lý tương tự mà trong đó các điện cực giữa các lớp tế bào nhớ là được dùng để đánh địa chỉ các tế bào nhớ ở cả hai phía của điện cực đó. Để có thể với tới các điện cực đi qua theo chiều x-y, thì chiều rộng của các lớp theo chiều x và chiều y là giảm theo chiều cao. Bộ nhớ đó được thể hiện bằng sơ đồ trên Fig.13.

Những kiểu sắp xếp khác của các mảng hai chiều và ba chiều là khả thi và nằm trong phạm vi hiểu biết của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực.

Cấu trúc đa lớp của thiết bị này có thể được sản xuất bằng phương pháp lắng màng mỏng bất kỳ, được tối ưu hoá cho các lớp cần thiết. Ví dụ, phương pháp lắng bằng xung laze (Pulsed Laser Deposition - PLD) có thể được sử dụng. Ví dụ về các điều kiện nuôi trồng đối với mỗi màng mỏng là như sau.

Bước 1: Chọn và làm sạch đế.

Đế oxit phù hợp bất kỳ (ví dụ, MgO , SrTiO_3 , Nb:SrTiO_3 , $(\text{LaAlO}_3)_{0,3}(\text{Sr}_2\text{TaAlO}_6)_{0,7}$) hoặc Si có thể được dùng làm đế. Đế này được làm sạch bằng thủ tục làm sạch bằng dung môi tiêu chuẩn trước khi trồng. Thủ tục làm sạch bằng dung môi tiêu chuẩn này có thể là quá trình làm sạch trong ba phút trong bể siêu âm bằng axeton, sau đó là isopropanol và cuối cùng là nước cất, với quá trình

thổi khô bằng N_2 sau mỗi bước dung môi. Theo một phương án, để này có thể trở thành điện cực đáy 60.

Bước 2: Nuôi trồng đa lớp (PLD và phún xạ manhetron).

Các màng mỏng được lắng đọng bằng kỹ thuật PLD nhờ sử dụng laze excimer KrF ($\lambda = 248$ nm). Các bia đơn pha tỷ lệ lượng lần lượt là $SrRuO_3$, $Nb:SrTiO_3$, $BaTiO_3$, $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$, $BaZr_xTi_{1-x}O_3$, Mn_3SnN và Mn_3GaN được bảo mòn bằng laze với mật độ năng lượng là $0,8$ J/cm² tại 10 Hz.

Lớp 1 – điện cực thứ hai là màng mỏng $SrRuO_3$ dày 60 nm – 100 nm được nuôi trồng tại $700^\circ\text{C} - 780^\circ\text{C}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 50 mTorr – 300 mTorr. Sau khi lắng đọng, thì màng trồng được này được hậu ủ tại chỗ trong 20 phút ở nhiệt độ nuôi trồng dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr. Sau đó, mẫu này được làm nguội xuống nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr.

Hoặc là màng mỏng $Nb:SrTiO_3$ dày 100 nm, được nuôi trồng tại 700°C dưới áp suất riêng phần O_2 là từ 0 mTorr – 60 mTorr. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr.

Lớp 2 – Vật liệu áp điện của lớp gây ứng suất là màng mỏng $BaTiO_3$ ($Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ hoặc $BaZr_xTi_{1-x}O_3$) dày 30 nm – 100 nm được nuôi trồng tại $750^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 150 mTorr – 300 mTorr. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr.

Lớp 3 – Lớp áp từ 20 bằng Mn_3XN , trong đó X là nguyên tố phù hợp bất kỳ – ví dụ, màng mỏng Mn_3SnN dày 100 nm được nuôi trồng tại $300^\circ\text{C} - 550^\circ\text{C}$ dưới áp suất riêng phần N_2 từ 0 mTorr – 12 mTorr. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống đến nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần N_2 là 0 mTorr – 12 mTorr.

Hoặc là Mn_3GaN dày 100 nm được nuôi trồng tại $300^\circ\text{C} - 550^\circ\text{C}$ dưới áp suất riêng phần N_2 từ 0 mTorr – 12 mTorr. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống đến nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần N_2 là 0 mTorr – 12 mTorr.

Lớp đệm (chỉ dành cho phương án 1) – chất thuận từ perovskit của lớp phi từ tính 15 – màng mỏng platin (Pt) dày 1 nm ~ 2 nm được nuôi trồng trên mẫu (bao gồm đế, các lớp 60, 30, và 20) bằng kỹ thuật phún xạ manhetron DC. Mẫu này được làm nóng đến 800°C trong chân không siêu cao và được ủ trong 1 giờ. Màng mỏng Pt được lắng đọng tại công suất DC là 100 W. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống đến nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ trong chân không.

Lớp 4 – Vật liệu sắt từ của lớp lưu trữ 10 - màng mỏng Co_3FeN dày 20 nm - 50 nm được nuôi trồng tại $300^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$ bằng kỹ thuật phún xạ manhetron RF từ bia Co_3Fe trong môi trường hỗn hợp khí $\text{Ar} + \text{N}_2$ với áp suất 5 mTorr - 20 mTorr mà trong đó nồng độ thể tích của khí N_2 là nằm trong khoảng 5% – 15%. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống đến nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$.

Lớp 5 – Điện cực thứ nhất là kim loại dày 50 nm – 100 nm (ví dụ, Pt, Au) hoặc màng mỏng perovskit có dẫn (ví dụ, SrRuO_3 , Nb:SrTiO_3).

Màng mỏng Pt dày 100 nm được nuôi trồng bằng kỹ thuật phún xạ manhetron DC. Mẫu này được làm nóng đến 800°C trong chân không siêu cao và được ủ trong 1 giờ. Màng mỏng Pt được lắng đọng tại công suất DC là 100 W. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống đến nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ trong chân không.

Hoặc là màng mỏng SrRuO_3 dày 100 nm được nuôi trồng tại $700^\circ\text{C} - 780^\circ\text{C}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 50 mTorr – 300 mTorr. Sau khi lắng đọng, thì màng trồng được này được hậu ủ tại chỗ trong 20 phút ở nhiệt độ nuôi trồng dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr. Sau đó, mẫu này được làm nguội xuống nhiệt độ phòng với tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$ dưới áp suất riêng phần O_2 là 600 Torr.

Hoặc là màng mỏng Nb:SrTiO₃ dày 100 nm, được nuôi trồng tại 700°C dưới áp suất riêng phần O₂ là từ 0 mTorr – 60 mTorr. Sau khi nuôi trồng, mẫu này được làm nguội xuống nhiệt độ phòng với tốc độ 10°C/phút dưới áp suất riêng phần O₂ là 600 Torr.

Bước 3: In ảnh litô.

Quy trình in ảnh litô tiêu chuẩn được thực hiện để tạo ra kiểu mẫu màng. Đối với các thiết bị 2D, thì tất cả các lớp có thể được lắng và sau đó được tạo mẫu. Đối với thiết bị xếp chồng 3D, thì mỗi lớp tế bào nhớ phải được tạo mẫu trước khi lớp tiếp theo được lắng.

Bước 4: Ăn mòn.

Quy trình mài bằng ion agon tiêu chuẩn để loại bỏ vật liệu và chuyển kiểu mẫu từ ảnh litô lên mẫu, hoặc kỹ thuật ăn mòn hoá học hoặc vật lý phù hợp bất kỳ khác, được thực hiện.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Tế bào nhớ bất biến bao gồm:

lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt từ mà ở đó dữ liệu là có thể ghi được dưới dạng chiều từ hoá;

lớp áp từ bao gồm vật liệu áp từ phản perovskit có kiểu hiệu ứng thứ nhất trên lớp lưu trữ và kiểu hiệu ứng thứ hai trên lớp lưu trữ một cách có lựa chọn, tùy theo trạng thái ứng suất ở lớp áp từ; và

lớp gây ứng suất để gây ra ứng suất ở lớp áp từ để nhờ đó chuyển từ kiểu hiệu ứng thứ nhất sang kiểu hiệu ứng thứ hai.

2. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 1, trong đó kiểu hiệu ứng thứ nhất là kiểu hiệu ứng mà trong đó độ từ hoá thực của lớp áp từ là đủ mạnh để thắng trường kháng từ ở lớp lưu trữ và để sự từ hoá của lớp lưu trữ đồng chỉnh với sự từ hoá của lớp áp từ thông qua sự ghép cặp lưỡng cực, và kiểu hiệu ứng thứ hai là kiểu hiệu ứng mà trong đó từ trường bất kỳ ở lớp lưu trữ do sự từ hoá bất kỳ ở lớp áp từ là thấp hơn trường kháng từ của lớp lưu trữ.

3. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm lớp phi từ tính giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ để ngăn chặn thiên áp trao đổi giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ.

4. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 1, 2 hoặc 3, trong đó vật liệu phản perovskit có nhiệt độ Neel lớn hơn 350K tại ứng suất là $\pm 30\%$, được ưu tiên là $\pm 10\%$, tốt nhất là $\pm 1\%$.

5. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó vật liệu áp từ phản perovskit là Mn_3SnN hoặc dựa trên Mn_3SnN , chẳng hạn $\text{Mn}_{3-x}\text{A}_x\text{Sn}_{1-y}\text{B}_y\text{N}_{1-z}$, trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn.

6. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 1, trong đó kiểu hiệu ứng thứ nhất là kiểu hiệu ứng mà trong đó lớp áp từ là ở trạng thái thuận từ và không có sự tương tác thiên áp trao đổi nào giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ, nhờ đó cho phép thay đổi chiều từ hoá của lớp lưu trữ bằng từ trường ngoài, và kiểu hiệu ứng thứ hai là sự tương tác thiên áp trao đổi mà trong đó vật liệu áp từ là ở trạng thái phản sắt từ và chiều từ hoá của lớp lưu trữ là được giữ bởi lớp áp từ.

7. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 6, trong đó vật liệu áp từ phản perovskit có nhiệt độ Neel biến thiên theo trạng thái ứng suất, và trong đó, nhiệt độ Neel này vượt quá 293K khi ứng suất được làm biến thiên từ + 30% đến -30%, được ưu tiên là + 10% đến -10%, tốt nhất là +1% đến -1%.

8. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 6 hoặc 7, trong đó vật liệu áp từ phản perovskit là Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , hoặc dựa trên Mn_3GaN hoặc Mn_3NiN , chẳng hạn $Mn_{3-x}A_xGa_{1-y}B_yN_{1-z}$ hoặc $Mn_{3-x}A_xNi_{1-y}B_yN_{1-z}$, trong đó A và B là một hoặc nhiều nguyên tố được chọn từ danh sách bao gồm: Ag, Al, Au, Co, Cu, Fe, Ga, Ge, In, Ir, Ni, Pd, Pt, Rh, Sb, Si, Sn, Zn.

9. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 6, 7 hoặc 8, trong đó tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm ít nhất một điện cực bổ sung để cấp từ trường được đặt kề với lớp lưu trữ để thay đổi chiều từ hoá của lớp lưu trữ.

10. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó lớp gây ứng suất là lớp áp điện và/hoặc vật liệu perovskit.

11. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó sự không khớp mạng giữa lớp lưu trữ và lớp áp từ và/hoặc giữa lớp áp từ và lớp gây ứng suất là nhỏ hơn 1%.

12. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó lớp sắt từ có cấu trúc perovskit hoặc cấu trúc phản perovskit.

13. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm:

điện cực thứ nhất được nối với lớp lưu trữ ở phía đối diện với lớp áp từ.

14. Tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó tế bào nhớ bất biến này còn bao gồm:

điện cực thứ hai được nối với lớp gây ứng suất ở phía đối diện với lớp áp từ.

15. Tế bào nhớ bất biến theo điểm 13 hoặc 14, trong đó sự không khớp mạng giữa điện cực và lớp liền kề của nó là nhỏ hơn hoặc bằng 1%.

16. Mạng tế bào nhớ hai chiều bao gồm các tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 15 trong mạng hai chiều.

17. Mạng tế bào nhớ ba chiều bao gồm các tế bào nhớ bất biến theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 15 trong mạng ba chiều.

18. Phương pháp ghi dữ liệu vào và đọc dữ liệu từ tế bào nhớ bất biến bao gồm lớp lưu trữ và lớp áp từ phản perovskit, trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

gây ra sự phân cực theo chiều thứ nhất hoặc chiều thứ hai ở lớp lưu trữ để nhờ đó ghi dữ liệu vào tế bào nhớ, sự phân cực của lớp lưu trữ theo chiều thứ nhất gây ra trạng thái từ tính thứ nhất ở lớp áp từ phản perovskit, và sự phân cực của lớp lưu trữ theo chiều thứ hai gây ra trạng thái từ tính thứ hai ở lớp áp từ phản perovskit; và

đo từ-điện dung của tế bào nhớ, từ-điện dung của lớp áp từ phản perovskit khi ở trạng thái từ tính thứ nhất là khác với khi ở trạng thái từ tính thứ hai, nhờ đó đọc dữ liệu được lưu ở lớp lưu trữ.

19. Phương pháp theo điểm 18, trong đó bước đo bao gồm bước cấp điện áp xoay chiều vào giữa lớp lưu trữ và lớp phản perovskit và xác định điện kháng và từ đó là từ-điện dung của tế bào nhớ.
20. Phương pháp theo điểm 18, trong đó bước đo bao gồm bước xác định độ dịch tần số cộng hưởng của tế bào nhớ.
21. Phương pháp theo điểm 18, 19 hoặc 20, trong đó lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt từ, và sự phân cực là sự phân cực từ.
22. Phương pháp theo điểm 21, trong đó bước gây ra nêu trên là được thực hiện bằng cách gây ra sự từ hoá ở lớp áp từ phản perovskit đủ mạnh để sự phân cực từ của lớp lưu trữ đồng chỉnh với sự từ hoá của lớp áp từ phản perovskit thông qua sự ghép cặp lưỡng cực.
23. Phương pháp theo điểm 22, trong đó tế bào nhớ bất biến còn bao gồm lớp gây ứng suất, và việc gây ra sự từ hoá ở lớp áp từ phản perovskit là được thực hiện bằng cách gây ra ứng suất ở lớp áp từ phản perovskit nhờ sử dụng lớp gây ứng suất này.
24. Phương pháp theo điểm 21, trong đó bước gây ra nêu trên bao gồm bước gây ra sự từ hoá ở lớp lưu trữ nhờ sử dụng điện cực từ hoá.
25. Phương pháp theo điểm 24, trong đó bước gây ra nêu trên còn bao gồm bước gây ra ứng suất ở lớp áp từ phản perovskit để nhờ đó làm cho lớp áp từ phản perovskit trở nên thuận từ.
26. Phương pháp theo điểm 25, trong đó tế bào nhớ bất biến còn bao gồm lớp gây ứng suất, và việc gây ra ứng suất là được thực hiện bởi lớp gây ứng suất này.
27. Phương pháp theo điểm 18, 19 hoặc 20, trong đó lớp lưu trữ bao gồm vật liệu sắt điện, và sự phân cực là sự phân cực điện.

28. Phương pháp theo điểm 18, 19, 20 hoặc 27, trong đó tế bào nhớ bất biến bao gồm điện cực thứ nhất được nối với lớp áp từ phản perovskit ở phía đối diện với lớp lưu trữ, và điện cực thứ hai được nối với lớp lưu trữ ở phía đối diện với lớp áp từ phản perovskit, và bước gây ra nêu trên bao gồm bước cấp hiệu điện thế vào giữa điện cực thứ nhất và điện cực thứ hai này, và bước đo nêu trên bao gồm bước đo từ-điện dung giữa điện cực thứ nhất và điện cực thứ hai này.

Fig.1a

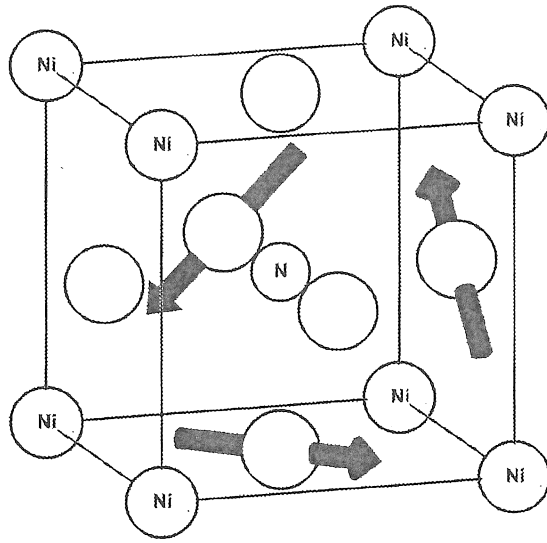
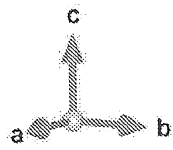


Fig.1b

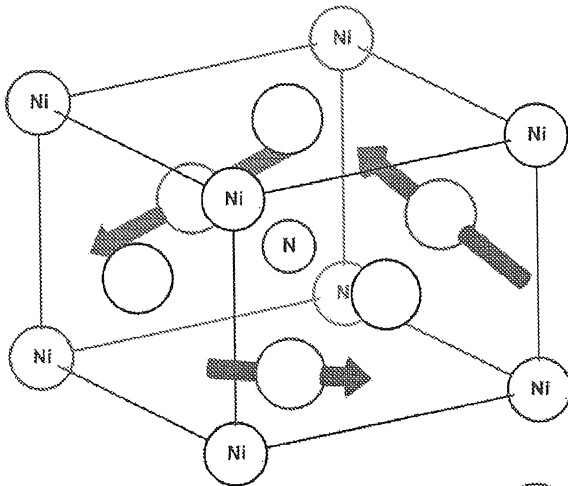


Fig.1c

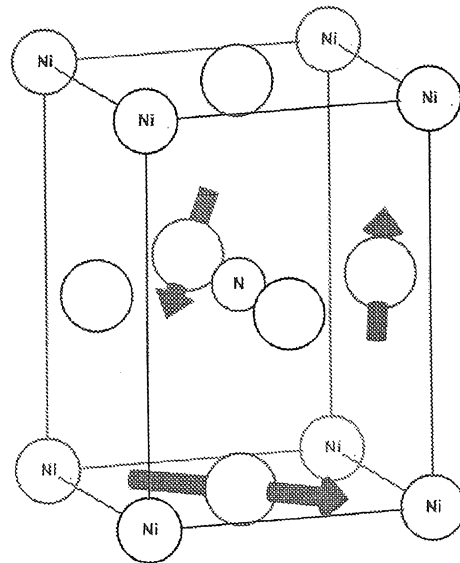


Fig.2

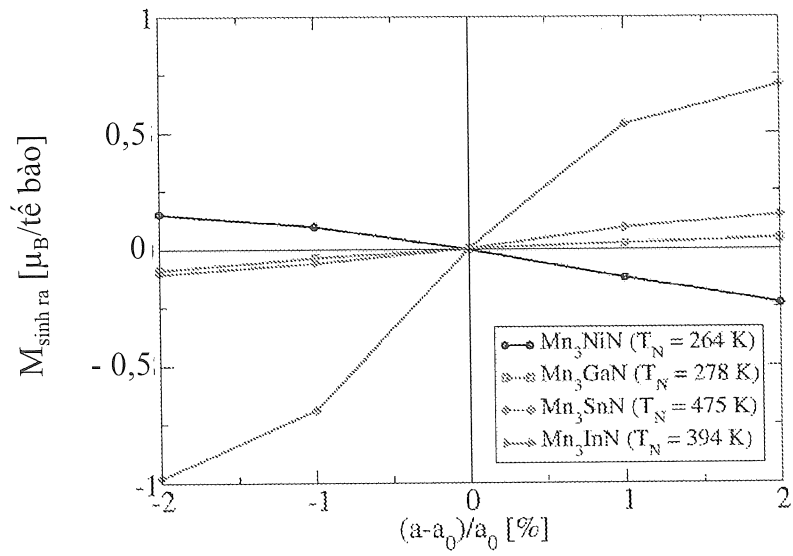
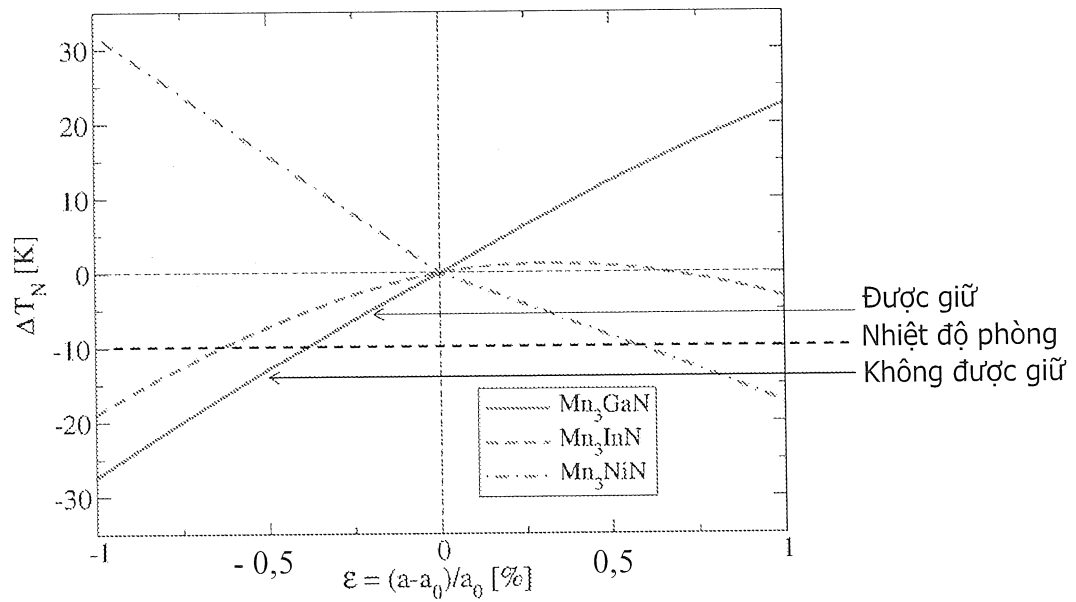


Fig.3



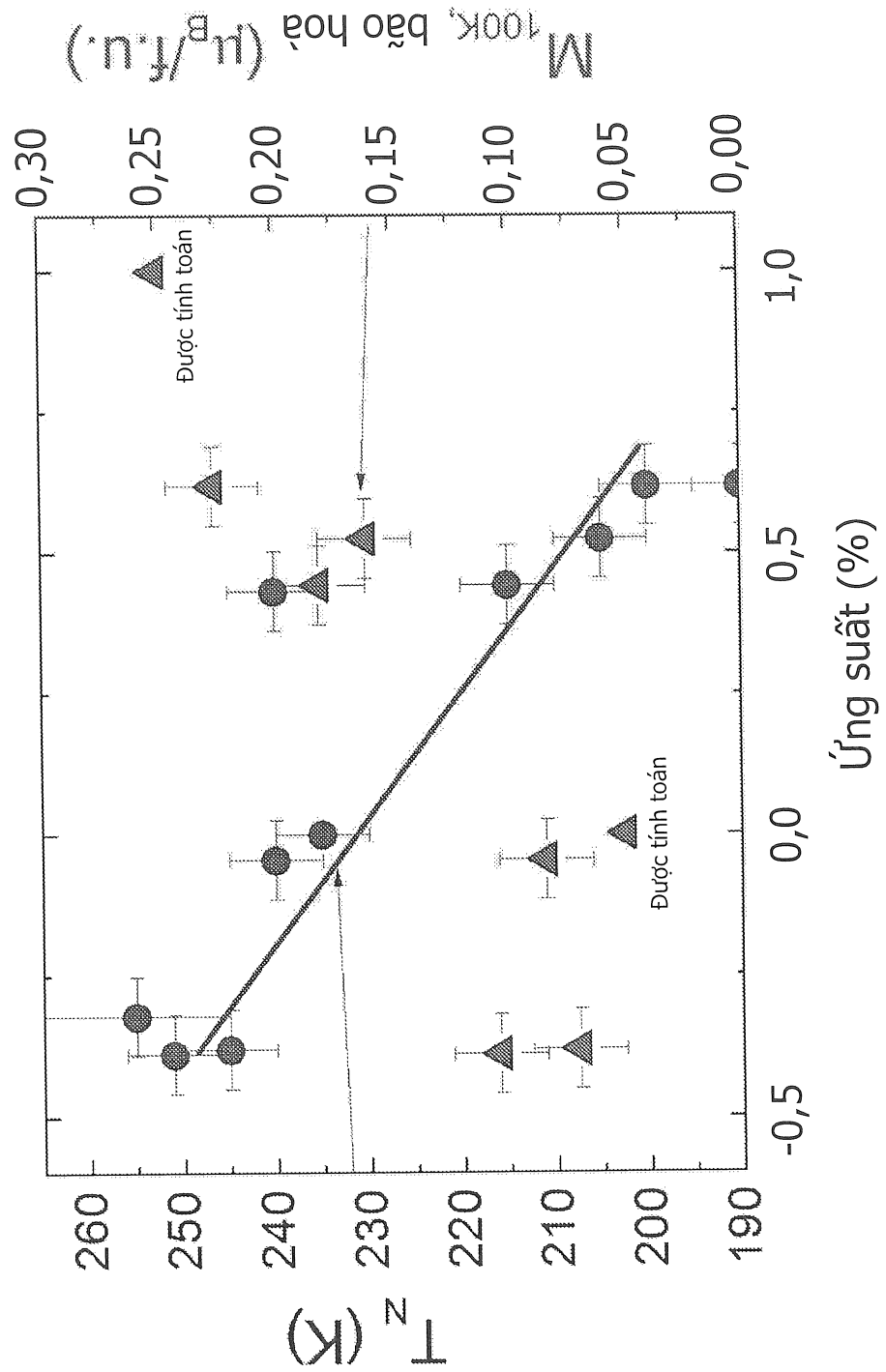


Fig.4

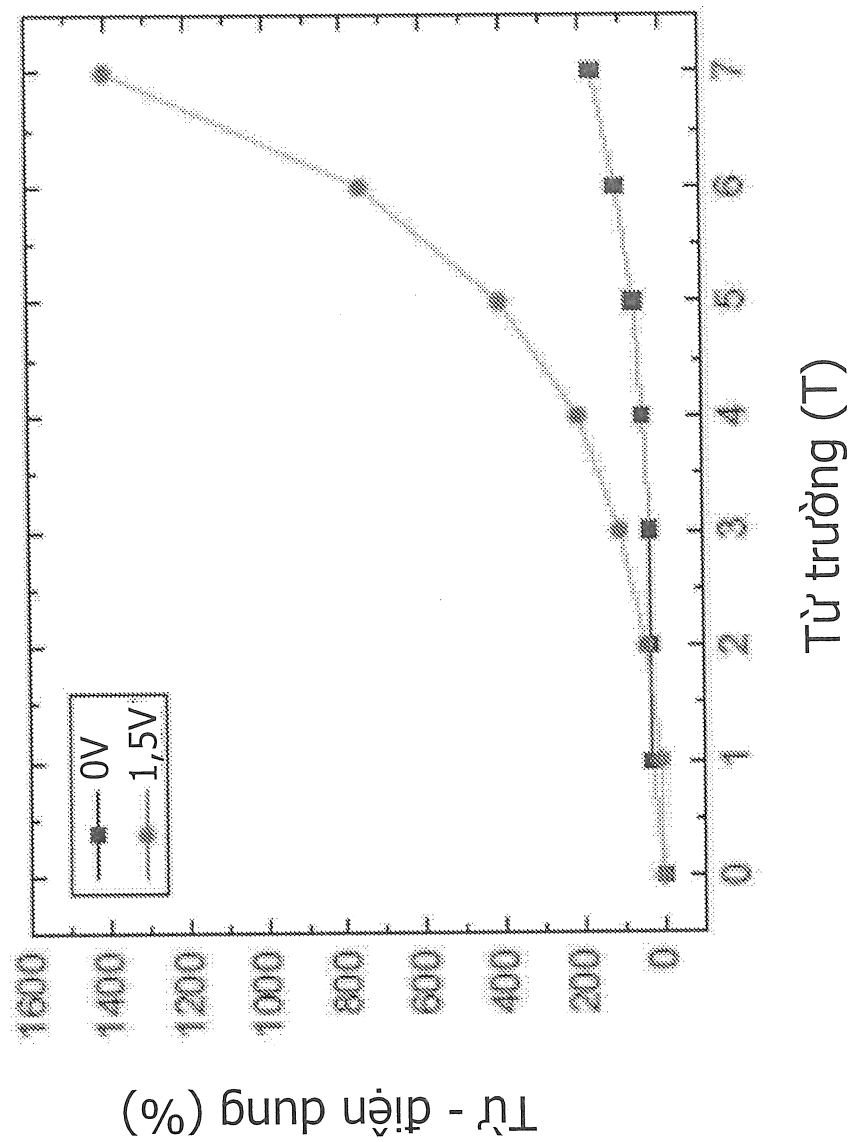


Fig.5

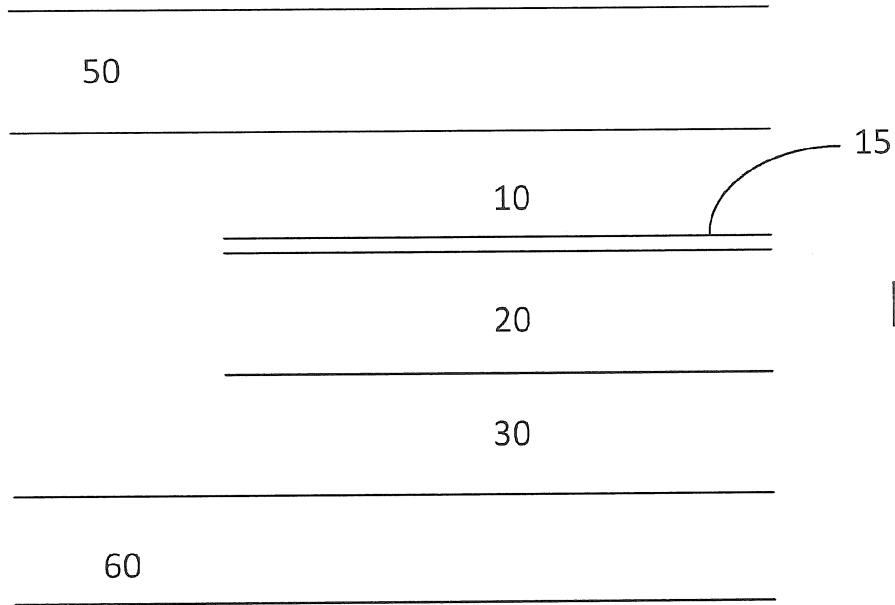


Fig.6

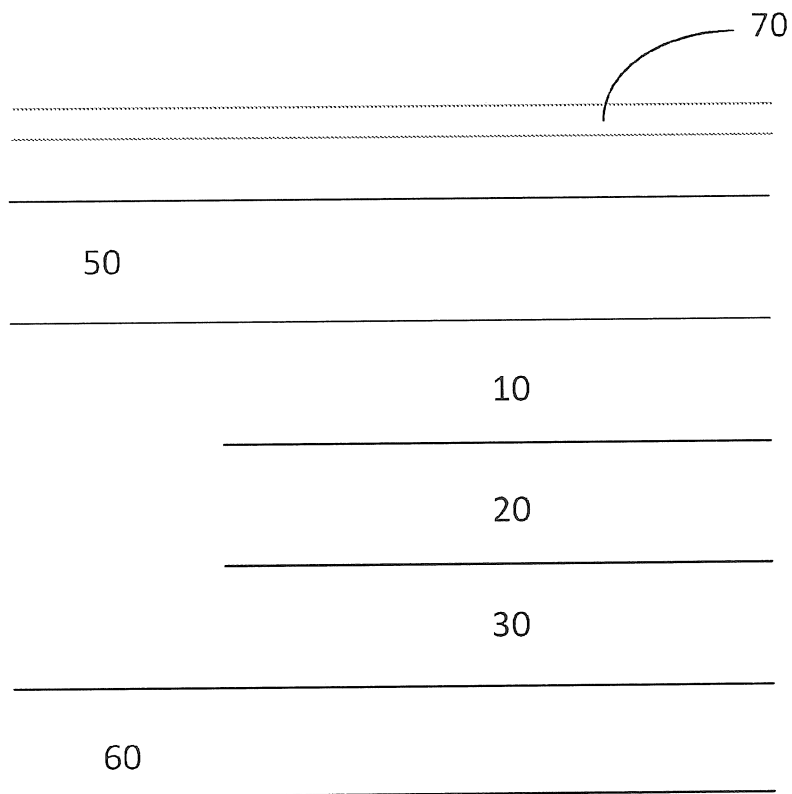


Fig.7

Fig.8

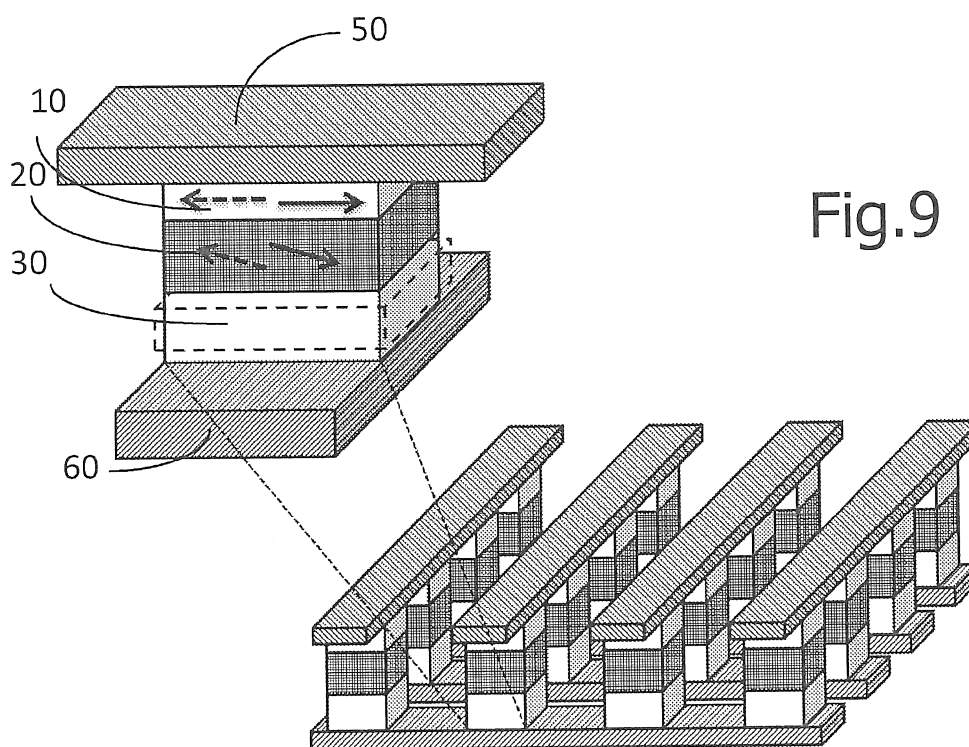
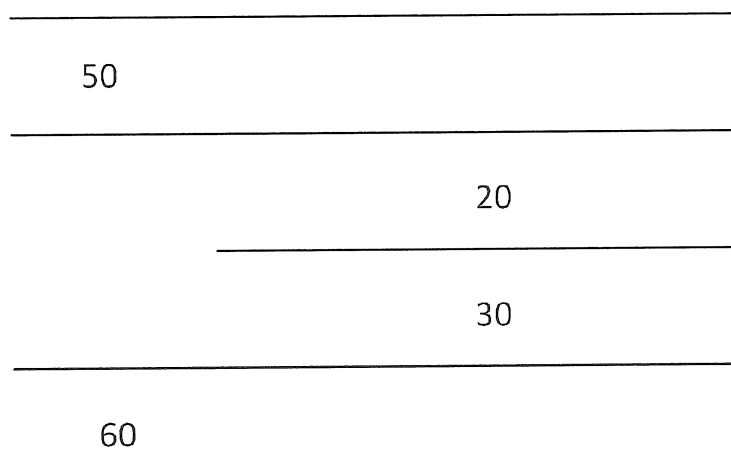


Fig.9

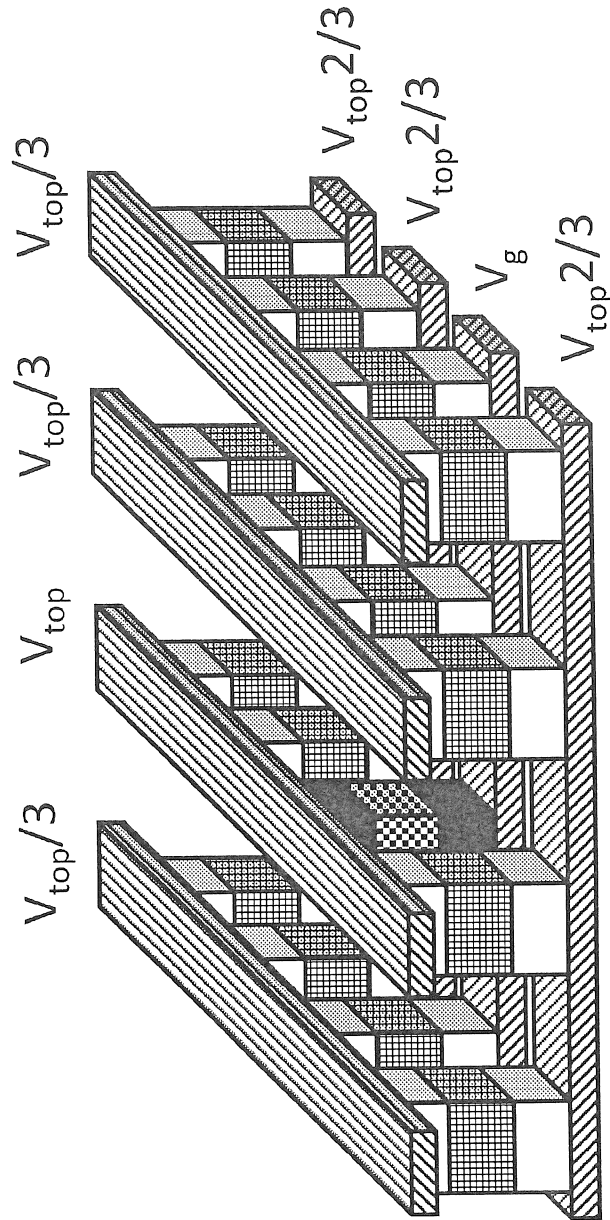


Fig.10

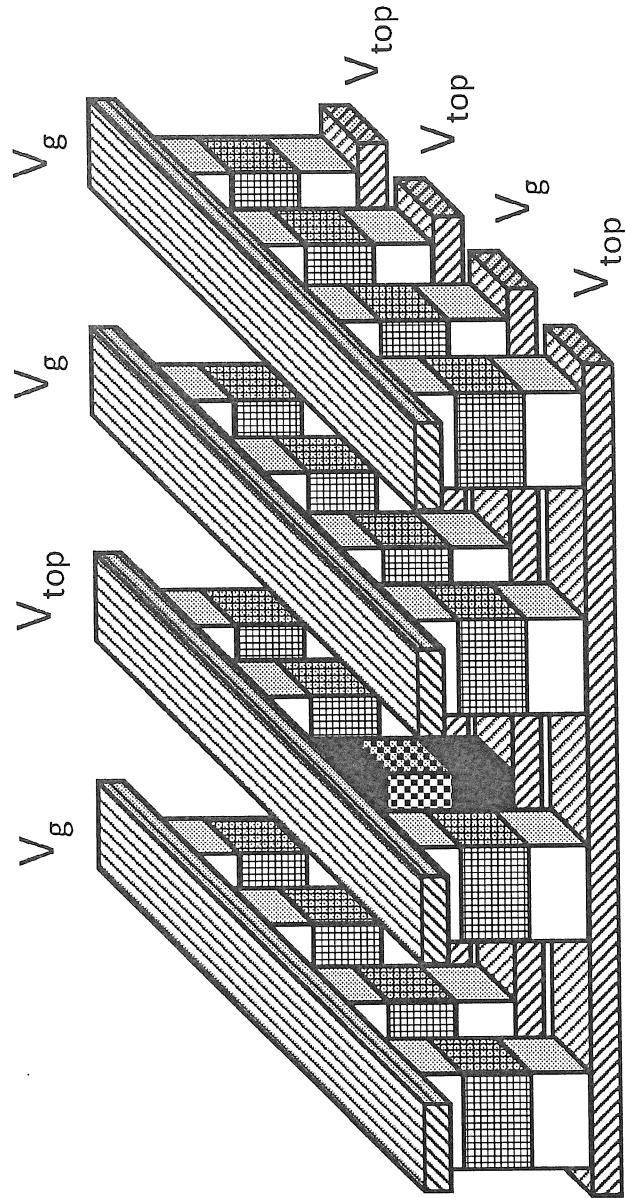


Fig.11

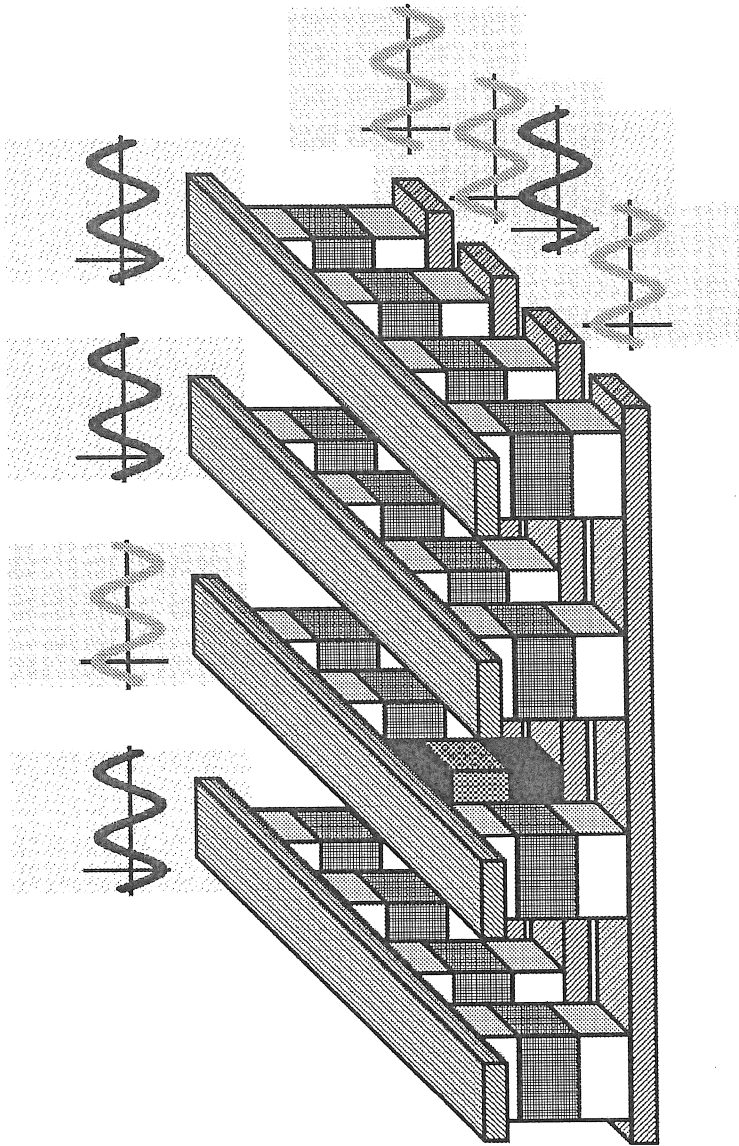


Fig.12

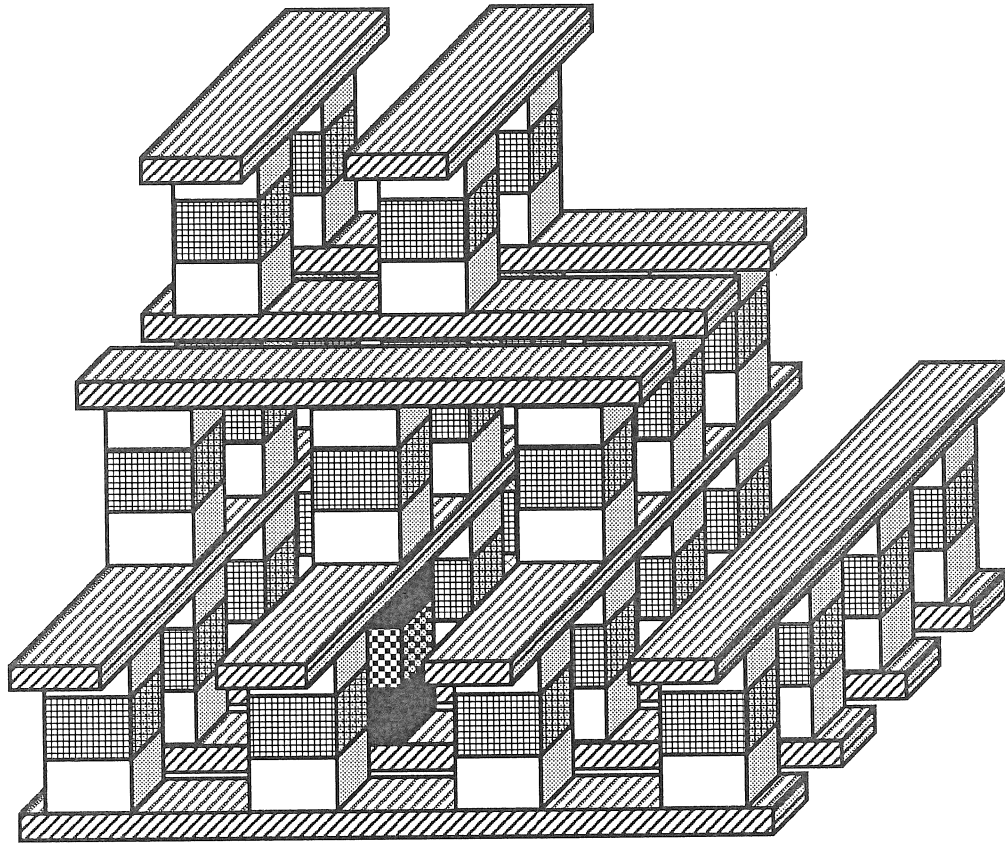


Fig.13