ÖZET

SAF SPİN AKIMLARINA DAYANAN 3 BOYUTLU MANYETİK BELLEK CİHAZI

Bu buluş, manyetik bitlere bilgi yazmak için saf spin akımlarını kullanan üç boyutlu bir manyetik bellek cihazı (1) ile ilgilidir. Manyetik bellek cihazı (1), iki referans katman (9) arasına yerleştirilen iki depolama katmanından (13) oluşan bir veya daha fazla yığından oluşmaktadır. Yığınlar, birinci yığının alt kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotların (11) birinci yığının altına konumlandırılmış ikinci yığının üst kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotlara (11) bağlanması ile oluşan ortak referans elektrotları (12) aracılığıyla birbirlerine bağlanmaktadır.

İSTEMLER

1.

- Her birinin üzerine yüksek bir spin-hall açılı ağır metal elektrot katmanı (4) yerleştirilmiş olan ve üzerine yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir üst katman (7) yerleştirilmiş yumuşak ferromıknatıstan yapılmış bir ara katman (6) ile temas halinde olan yüksek spin polarizasyonlu ferromanyetik malzemeden yapılmış bir alt katman (5) içeren, manyetik nano-sütunlardan oluşan birden çok sayıda manyetik referans biti (2);
- her birinin üzerine uzun spin-difüzyon uzunluğuna sahip metal elektrot katmanı (8) yerleştirilmiş olan ve üzerine yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir üst katman (7) yerleştirilmiş yumuşak ferromıknatıstan yapılmış bir ara katman (6) ile temas halinde olan yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir alt katman (5) içeren, mikron-altı boyutta manyetik nano-sütunlardan oluşan birden çok sayıda manyetik depolama biti (3) **içeren** ve
- iki referans katman (9) arasına yerleştirilen,
  - referans katmanlarının (9)
    - manyetik referans bitlerinin (2) yalıtım malzemeleri (10) vasıtasıyla birbirlerinden izole edildiği birden çok sayıda manyetik referans biti (2) dizini;
    - manyetik referans biti (2) dizinleri ile temas halinde olan birden fazla sayıda referans elektrot (11) dizini içerdiği;
  - depolama katmanlarının (13)
    - manyetik referans biti (2) dizinlerine dik olan ve manyetik depolama bitlerinin (3) yalıtım malzemeleri vasıtasıyla birbirilerinden izole edildiği birden fazla sayıda manyetik depolama biti (3) dizini;
    - referans katmanları (9) ile depolama katmanları (13) arasında konumlandırılan birden çok sayıda yazma metal elektrot (14) dizini;
    - manyetik depolama biti (3) dizinleri ile temas halinde olan birden fazla sayıda okuma metal elektrot (15) dizini içerdiği;

iki depolama katmanından oluşan en az bir yığın (13)
ile **karakterize edilen** üç boyutlu bir manyetik bellek cihazı (1).

2. Yığınların birbirlerinin üzerine bindiği ve söz konusu her bir yığının manyetik olmayan bir yalıtım malzemesi (10) ile yalıtıldığı, İstem 1'deki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1)

3. Yığının alt kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotların (11) diğer yığının üst kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotlara (11) bağlanması yoluyla oluşturulan ortak referans elektrot (12) dizinleri aracılığıyla yığınların birbirlerine bağlandığı, İstem 2'deki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

4. Üst katman (7) ve alt katmanın (5) kobalt demir bor (CoFeB) alaşımından oluştuğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

5. Ara katmanın (6) nikel demir (NiFe) alaşımından oluştuğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

6. Ağır metal elektrot katmanının (4) yüksek spin-hall açılı bir metal olduğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

7. Referans elektrotunun (11) ağır metal elektrot katmanı (4) ile aynı metal olduğu, İsem 6'daki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

8. Yüksek spin-hall açılı metal elektrot katmanının (4) Tantal (Ta) ve Platin'den (Pt) oluşan bir gruptan seçilen bir ağır metal olduğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

9. Yalıtım malzemesinin (10) Silikon Dioksit (SiO_2) olduğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

10. Metal elektrot katmanının (8) Bakır (Cu) olduğu, yukarıdaki istemlerden herhangi birindeki gibi üç boyutlu manyetik bellek cihazı (1).

11.

- Yazılacak manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir yazma metal elektrotu (14) ve sabit bir mıknatıslanma yönüne sahip olan ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- yazma metal elektrotundan (14) referans elektrota (11) manyetik referans biti (2) içinden bir akım darbesi geçirilmesi adımlarını içeren; manyetik referans biti (2) ile spin polarize olmuş akımın spinlerinin manyetik depolama bitine (3) doğru yazma metal elektrotunun (14) içine nüfuz ettiği ve manyetik depolama bitinde (3) spinlerle aynı yön boyunca mıknatıslanma uyguladığı

İstem 1 ila 3'ten herhangi birindeki gibi bir manyetik bellek cihazı (1) kullanılarak bir manyetik depolama bitine (3) "1" yazma yöntemi.

12.

- Değiştirilecek manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir yazma metal elektrotu (14) ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen ve sabit bir mıknatıslanma yönüne sahip olan bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- referans elektrottan (11) yazma metal elektrotuna (14) manyetik referans biti (2) aracılığıyla bir akım darbesi geçirilmesi adımlarını içeren; manyetik referans biti (2) ile ters yönde polarize olan akım spinlerinin manyetik referans bitinden (2) manyetik depolama bitine (3) doğru saçıldığı ve manyetik depolama bitinde (3) spinlerle aynı yön boyunca mıknatıslanma uyguladığı

İstem 1 ila 3'ten herhangi birindeki gibi bir manyetik bellek cihazı (1) kullanılarak bir manyetik depolama bitine (3) "0" yazma yöntemi.

13. Manyetik referans bitinin (2) yönünün, akımın manyetik referans bitlerine (2) doğru ilerleyen bir saf spin akımı oluşturduğu referans elektrotun (11) içinden bir akım darbesi geçirilmesi ve açısal momentumunun manyetik referans bitine (2) transfer edilmesi yoluyla sabitlendiği, İstem 11 ve 12'deki gibi yöntemler.

14.

- Okunacak manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir okuma metal elektrotu (15) ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- referans elektrottan (11), akımın manyetik referans biti (2) ve manyetik depolama bitinin (3) nispi oryantasyonuna bağlı olarak yüksek veya düşük bir direnç değeri verdiği okuma metal elektrotuna bir akım darbesi geçirilmesi,
- manyetik bitlerin direncinin algılanması,
- direncin önceden belirlenen bir referans değerden daha yüksek veya düşük olması halinde direncin referans değer ile karşılaştırılması yoluyla her bir bellek elemanının ikili durumunun belirlenmesi ve
    - direnç referans değerden daha düşük olduğu takdirde, manyetik depolama biti (3) üzerindeki bilgilerin "1" olarak algılanması,
    - direnç referans değerden daha yüksek olduğu takdirde, manyetik depolama biti (3) üzerindeki bilgilerin "0" olarak algılanması adımlarını içeren

İstem 1 ila 3'ten herhangi birindeki bir manyetik bellek cihazı (1) kullanılarak bir manyetik depolama bitinin (3) bilgilerini okuma yöntemi.

TARİFNAME
SAF SPİN AKIMLARINA DAYANAN
3 BOYUTLU MANYETİK BELLEK CİHAZI

Teknik Alan

Bu buluş, 3 boyutlu (3B) manyetik bellek cihazları ile ilgilidir.

Önceki Teknik

Günümüzde veri depolama teknolojisi, malzemelerin elektrik, optik ve manyetik olmak üzere üç ana fiziksel özellik üzerine temellendirilmektedir. Basit bir kapasitör içinde elektriksel yük depolama prensibine dayanan flaş bellek, optik dalga boylarında reflektivite değişimi ile kodlanan DVD, verileri manyetik ince filmlerin bölgesel oryantasyonu ile kodlayan hard disk örnek olarak verilebilir. Bu teknolojiler yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, veri depolama yoğunluğundaki artış için ön koşul olan ölçeklenebilirlik açısından kendilerine özgü fiziksel sınırlamalar içermektedir. Özellikle batarya ile çalışan mobil cihazlarda kullanıma uygun yüksek yoğunluklu ve güç tüketimi düşük olan cihazlar için yeni ve gelişmekte olan teknolojiler değerlendirilmektedir. Düşük üretim maliyetleri ve yüksek okuma/yazma hızları da araştırmaları mevcut teknolojilerin yerine geçebilecek veya bunlarla çalışabilecek bir optimal bellek cihazına yönlendirmektedir. Faz Değişim Belleği (PCM) ve manyetik rastgele erişimli bellek (MRAM) gibi güçlü alternatifler olmasına karşın; daha yoğun, daha hızlı ve güç etkinliği yüksek cihazlara yönelik araştırmalar halen devam etmektedir [1,2].

Spintronik (spin elektroniği) araştırmalarındaki son gelişmeler, manyetik kayıt alanında Uçucu Olmayan (NV) ve dayanıklılığı yüksek çeşitli buluşların yolunu açmıştır. Manyetik hard disk sürücüsü olan mevcut teknoloji, süper paramanyetik etki (hücre boyutunu sınırlamaktadır) dolayısıyla ölçeklenebilirlik açısından sınırlıdır ve veri depolamak ve okumak için, cihazın boyutlarını arttıran ve çok fazla güç tüketen döner diskler ve hareketli okuma/yazma kafaları gibi hareketli parçalara bağımlıdır. Spin

transfer tork MRAM veya STT-RAM'larında spin-polarize olmuş elektronların kullanımı, hareketli parça gereksinimini ortadan kaldıran spin-polarize olmuş akımlar vasıtasıyla bitlerin mıknatıslanmalarının değiştirilmesi suretiyle yüksek güç tüketimi sorununun üstesinden gelmektedir. Manyetik bellekteki ölçeklenebilirlik sorunu, ya manyetik bilgi katmanlarından oluşan [3] ya da yarış-pisti (race-track) bellek tasarımındaki gibi bellek içindeki hacmi kullanan [4] üç boyutlu (3B) bellek yapılarındaki üçüncü boyutun kullanılması yoluyla çözülebilir. Söz konusu bellek cihazları spin transfer torku [5], ısı destekli kaçak alan kaynaklı mıknatıslanma anahtarlama [6], opto-manyetik yöntemleri [7] kullanmaktadır.

Bilinen bellek cihazlarının dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Flaş bellek, DVD ve hard disk sürücüleri gibi mevcut bellek teknolojileri, ölçeklenebilirlik açısından sınırlıdır ve daha yüksek depolama kapasiteleri için talebe yanıt vermekte yetersiz kalmaktadır. Bu bellek tipleri; ölçek küçüldükçe, flaş bellek hücrelerinde yük sızıntısı, DVD'lerde dalga boyu sınırı ve hard disk sürücülerinde süperparamanyetik etki gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Bellek cihazlarının içindeki hareketli parçalar ayrıca boyutları sınırlamakta, çok fazla güç tüketmekte ve arızalanarak mekanik problemlere sebep olabilmektedir.

Mevcut teknolojiler, mili-mikron saniye mertebesinde okuma/yazma sürelerine sahiptir. Hareketli parçalar içeren disklerde, hız, dönme hızı ve/veya okuma/yazma kafası hızı ile sınırlıdır.

DRAM gibi bazı mevcut bellek teknolojileri uçucudur. Bu nedenle, belleği yenilemek için güç tüketimine gereksinim duyarlar.

İkili durumların uzun dönem kararlılığı PCM gibi bazı teknolojiler için problem teşkil etmektedir.

Ayrı okuyucu/yazıcı/arabellek birim gereksinimi, yalnızca cihaz yapısını karmaşıklaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda hard disk sürücüleri gibi bazı teknolojilerde üretim maliyetlerini de arttırmaktadır.

Yarış-pisti bellek ve opto-manyetik bellek gibi bazı yeni üç boyutlu (3B) bellek teknolojilerinde, bitleri okuyabilmek için bit transferi gerekmektedir ki bu da hata oranını arttırır ve fazla zamana mal olur.

Böylece, çok yüksek yoğunluğa sahip, hareketli parça içermeyen, tekli bit erişimi olan nano-saniye mertebesinde okuma/yazma süreleri, kararlı mantık seviyeleri özelliklerine sahip ve okuma ve yazma birimleri ile birlikte azaltılmış üretim maliyetlerine sahip olan yeni bir 3B uçucu olmayan bellek tasarımı gerekmektedir.

Referanslar

[1] J. S. Meena, S. M. Sze, U. Chand ve T.-Y. Iseng, Nanoscale Res. Lett. 9, 526 (2014).

[2] O. Ozatay, P. G. Mather, T. Hauet, J.-U. Thiele ve P. M. Braganca, in Compr. Nanosci. Technol. (Elsevier, 2010).

[3] Robert A. Buhrman, L. Liu, D. C. Ralph ve C.-F. Pai, US9105832B2 (21 Şubat 2013).

[4] S. S. P. Parkin, US7551469 B1 (23 Haziran 2009).

[5] L. Folks ve B. D. Terris, US 8422284 B2 (16 Nisan 2013).

[6] O. Ozatay ve B. D. Terris, US 8164940 B2 (24 Nisan 2012).

[7] Y. B. Kalyoncu ve O. Ozatay, WO 2014102728 Al (3 Temmuz 2014).

[8] L. Liu, C.-F. Pais Y. Li, H. W. Tseng, D. C. Ralph ve R. A. Buhrman, Science 336, 555 (2012).

[9] V. E. Demidov, S. Urazhdin, H. Ulrichs, V. Tiberkevich, A. Slavin, D. Baither, G. Schmitz ve S. 0. Demokritov, Nat. Mater. 11, 1028 (2012).

[10] V. E. Demidov, S. Urazhdin, A. Zholud, A. V. Sadovnikov, A. N. Slavin ve S. 0. Demokritov, Sci. Rep. 5, 8578 (2015).

[11] A. Hoffmann, Physics 6, (2013).

[12] William C. Black, Jr., Ruili (Linda) Zhang, US 6693826B1 (17 Şubat 2004).

[13] Manish Sharma, Frederick A. Perner, WO2005119689A1 (6 Eylül 2005).
[14] Ryoko Sugano, Masahiko Ichimura, Hiromasa Takahashi, US8295006B2 (23 Ekim 2012).

Buluşun Amaçları

Spin Hall etkisi (SHE) veya manyetik olmayan bir katman üzerinden spin difüzyonu yoluyla ferromıknatıslara spin aşılamasına duyulan ilgi, geçtiğimiz birkaç yılda artmış olup, manyetik bellek cihazları [8] ve on-chip (çip üstü) osilatörlerde [9, 10] potansiyel kullanımları söz konusudur. Yük akımları yerine saf spin akımlarının kullanılmasının bir avantajı, spin açısal momentumu transfer etmeye yönelik verimli bir araç sağlayan çoklu saçılım olaylarından faydalanılabilir olmasıdır [11].

Bu buluşun amacı saf spin akımlarına dayanan 3 boyutlu bir manyetik bellek cihazı sağlamaktır. Bu buluş, nano-saniye mertebesinde akım darbeleri vasıtasıyla manyetik bitlere bilgi yazmak için saf spin akımlarını kullanan ve çok yüksek yazma hızlarına olanak vermeyi amaçlayan bir manyetik bellek cihazıdır. Üç boyutlu bellek tasarımında, nano-ölçekli manyetik sütunlar olan manyetik bitler dizinler halinde düzenlenmekte ve katmanlar halinde yığılmaktadır, dolayısıyla manyetik diskin hacmi kullanılmaktadır.

Mevcut buluşun tercih edilen uygulamasında, manyetik bellek cihazı, iki referans katman arasına yerleştirilen iki depolama katmanından oluşan en az bir yığından oluşmaktadır. Bir başka deyişle, manyetik bellek cihazı, her biri yukarıdan aşağıya sırayla yerleştirilmiş olan bir birinci referans katmanı, bir birinci depolama katmanı, bir ikinci depolama katmanı ve bir ikinci referans katmanı içeren birden fazla sayıda yığın içermekte olup; burada birinci referans katmanı birden çok sayıda manyetik referans biti dizini ve manyetik referans biti dizinlerinin üzerine yerleştirilmiş birden çok sayıda referans elektrot içermekte; birinci depolama katmanı, birinci referans katmanındaki manyetik referans biti dizinlerine dik olan birden çok sayıda manyetik depolama biti dizini, birinci referans katmanı ile birinci depolama katmanı arasında konumlandırılan birden çok sayıda yazma metal elektrotu dizini ve birinci depolama katmanı ile ikinci

depolama katmanındaki manyetik depolama biti dizinleri ile temas halinde olan birden çok sayıda okuma metal elektrot dizini içermekte; ikinci depolama katmanı, birinci depolama katmanındaki manyetik depolama biti dizinlerine paralel olan birden çok sayıda manyetik depolama biti dizini ve ikinci depolama katmanı ile ikinci referans katmanı arasında konumlandırılmış olan birden çok sayıda yazma metal elektrot dizini içermekte; ve ikinci referans katmanı, ikinci depolama katmanındaki manyetik depolama biti dizinlerine dik olan birden çok sayıda manyetik referans biti dizini ve manyetik referans biti dizinlerinin alt kısmında birden çok sayıda referans elektrot dizini içermektedir.

Mevcut buluşun bir uygulamasında, yukarıda açıklanan birden çok sayıda yığın, iki depolama katmanından oluşan çoklu yığınlara sahip bir yapı oluşturmak için birbirlerinin üzerine binmekte ve söz konusu her yığın manyetik olmayan bir yalıtım malzemesi ile yalıtılmaktadır.

Mevcut buluşun bir başka uygulamasında, yukarıda açıklanan birden çok sayıda yığın, iki bitişik yığındaki referans elektrotların bağlanması ile oluşturulan ortak referans elektrot dizinleri aracılığıyla birbirlerine bağlanmaktadır. Bu uygulamada, bağlı yığınlardaki bitişik referans katmanları, ortak referans elektrotlarının içinden bir akım darbesi geçirmek suretiyle kumanda kutusu vasıtasıyla sıfırlanabilmektedir (initialized).

Buluşun önceki bellek sistemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır.

- Bilgiler, manyetik bit dizinlerinden oluşan çoklu katmanlar içinde depolanmaktadır; dolayısıyla depolama kapasitesi açısından üstündür.
- Uçucu olmayan bellek teknolojisidir, yani elektrik olmadığında bile bilgiler korunmaktadır.
- Saf spin akımlarından tork kullanan bit transferi çoklu spin saçılım olaylarının arttırıcı etkisi ile daha verimlidir ve verimli enerji tüketimine imkan verir.
- Buluş, bilgileri yazmak ve okumak için nano-saniye mertebesinde akım darbeleri kullanmaktadır, bu nedenle çalışma için hareketli parçalara bağımlı değildir. Bu; zaman, enerji ve yer tasarrufu sağlamaktadır.

- Mevcut buluş tekli bitlere erişime olanak sağlamaktadır ve ne ayrı bir okuyucu/yazıcı birimine ne de bir arabelleğe gereksinim duymaktadır. Bu, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, daha verimli yer kullanımı ve aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılması açısından büyük bir avantajdır.

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

Bu buluşun amacına ulaşmak için gerçekleştirilmiş olan 3 boyutlu manyetik bellek cihazı ekli şekillerde gösterilmiş olup; bu şekillerden;

Şekil 1 – Bir bellek cihazın içindeki manyetik bitler.

Şekil 2 – Yazma işleminin gösterimi.

Şekil 3 – Okuma işleminin gösterimi.

Şekil 4 – Sıfırlama (reset), okuma ve yazma işlemlerinin bir kumanda kutusu kullanılarak gösterimi.

Şekil 5 – RLm-ri'nin m. referans katmanının i. sırasını temsil ettiği, RLm-cj'nin m. referans katmanının j. sütunu temsil ettiği, SL-cj'nin depolama bitleri altındaki yazma metal elektrotlarının j. sütunlarını temsil ettiği; ve SLn-riji'nin, i. referans katmanı sırası ile j. depolama katmanı sütunu arasında n. depolama katmanındaki bir depolama bitini temsil ettiği; manyetik cihazın dizin gösterimi.

Şekil 6 – İki referans katman ve iki depolama katmanı ile birlikte cihazın kutu şeklinde şeması.

Şekil 7 – 3 boyutlu bir bellek tasarımı için tekrar eden bir yığın.

Şekilde gösterilen parçalar aşağıdaki şekilde numaralandırılmıştır:

1. Manyetik Bellek Cihazı

2. Manyetik referans biti

3. Manyetik depolama biti

4. Ağır metal elektrot katmanı

5. Alt katman

6. Ara katman

7. Üst katman

8. Metal elektrot katmanı

9. Referans katmanı

10. Yalıtım malzemesi

11. Referans elektrot

12. Ortak referans elektrotu

13. Depolama katmanı

14. Yazma metal elektrotu

15. Okuma metal elektrotu

16. Kumanda kutusu

I. Akım

s- -y yönünde polarize olmuş elektron spinleri

s+ +y yönünde polarize olmuş elektron spinleri

- her birinin üzerine yüksek bir spin-hall açılı ağır metal elektrot katmanı (4) yerleştirilmiş olan ve üzerine yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir üst katman (7) yerleştirilmiş yumuşak ferromıknatıstan yapılmış bir ara katman (6) ile temas halinde olan yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir alt katman (5) içeren, manyetik nano-sütunlardan oluşan birden çok sayıda manyetik referans biti (2);
- her birinin üzerine uzun spin-difüzyon uzunluğuna sahip metal elektrot katmanı (8) yerleştirilmiş olan ve üzerine yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir üst katman (7) yerleştirilmiş yumuşak ferromıknatıstan yapılmış bir ara katman (6) ile temas halinde olan yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir alt katman (5) içeren, mikron-altı boyutta manyetik nano-sütunlardan oluşan birden çok sayıda manyetik depolama biti (3);
- iki referans katman (9) arasına yerleştirilen
    - referans katmanlarının (9)

- manyetik referans bitlerinin (2) yalıtım malzemeleri (10) vasıtasıyla birbirlerinden izole edildiği birden çok sayıda manyetik referans biti (2) dizini;
- manyetik referans biti (2) dizinleri ile temas halinde olan birden fazla sayıda referans elektrot (11) dizini içerdiği;

o depolama katmanlarının (13)

- manyetik referans biti (2) dizinlerine dik olan ve manyetik depolama bitlerinin (3) yalıtım malzemeleri vasıtasıyla birbirilerinden izole edildiği birden fazla sayıda manyetik depolama biti (3) dizini;
- referans katmanları (9) ile depolama katmanları (13) arasında konumlandırılan birden çok sayıda yazma metal elektrot (14) dizini;
- manyetik depolama biti (3) dizinleri ile temas halinde olan birden fazla sayıda okuma metal elektrot (15) dizini içerdiği;

- iki depolama katmanından oluşan en az bir yığın (13)

içeren üç boyutlu bir manyetik bellek cihazı (1).

Şekil 1'de, manyetik bellek cihazı (1) içinde, bir referans katmanı ve bir depolama katmanı (13) ile birlikte bir manyetik referans biti (2) ve bir manyetik depolama biti (3) gösterilmektedir. Referans katmanı (9) Silikon Dioksit (SiO_2) gibi manyetik olmayan bir yalıtım malzemesi (10) ile izole edilmiş olan manyetik referans bitlerine (2) sahip olan referans katmanın (9) üst kısmına yerleştirilmiş olan yüksek spin-yörünge etkileşimli (high spin-orbit coupling) ve yüksek spin hall açılı metal elektrot katmanından (4) (Tantal (Ta) veya Platin (Pt) gibi bir ağır metal) oluşmaktadır. Depolama katmanı (13), Bakır (Cu) gibi uzun spin difüzyon uzunluğuna sahip bir malzemeden oluşan bir metal elektrot katmanına (8) ve bir yalıtım malzemesi (10) ile ayrılmış manyetik depolama bitlerine (3) sahiptir.

Manyetik referans bitleri (2) ve manyetik depolama bitleri (3), üzerine yüksek spin polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir üst katman (7) yerleştirilmiş yumuşak ferromıknatıstan yapılmış bir ara katman (6) ile temas halinde olan yüksek spin

polarizasyonlu bir ferromanyetik malzemeden yapılmış bir alt katman (5) yığını gibi mikron-altı boyutta manyetik nano-sütunlardan oluşmaktadır. Referans katmanındaki (9) manyetik nano-sütunların bir örneği, CoFeB/$Ni_{81}Fe_{19}$/CoFeB'dir (kobalt-demir-bor alaşımı / nikel-demir alaşımı / kobalt-demir-bor alaşımı) ve üzeri referans elektrot (11) ile aynı malzemeden (yüksek spin-hall açılı metal) olan bir ağır metal elektrot katmanı (4) ile kaplanmıştır. Diğer örnekler olarak, yüksek spin polarizasyonu için ferromanyetik yarı-metal olan Heusler alaşımları kullanılabilir ve yumuşak manyetik katman için NiFeCu, FeSi ve benzer NiFe alaşımları kullanılabilir. Manyetik depolama bitleri (3) manyetik referans bitleri (2) ile aynı malzemelerden oluşmaktadır. Manyetik bitler nano-sütunlar halinde modellenmektedir ve uzun ekseni manyetik filmin kolay eksenini tanımlayacak şekilde eliptik biçimde tasarlanabilmektedir.

Mevcut buluşta, bilgiler, referans katmanlara (9) göre manyetik depolama bitlerinin (3) içine yazılmakta ve manyetik nano-sütunlardaki yumuşak manyetik malzemenin mıknatıslanma yönü ile belirlenmektedir.

Manyetik bellek cihazı (1) ve kumanda kutusu (16) kullanılarak bir manyetik depolama bitine (3) "1" (yani, manyetik depolama bitinde (2) +y yönünde mıknatıslanma) yazma yöntemi aşağıdaki adımları içermektedir:

- yazılacak manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir yazma metal elektrotu (14) ve +y yönü boyunca sabit bir mıknatıslanma yönüne sahip olan ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- yazma metal elektrotundan (14) referans elektrota (11) manyetik referans biti (2) içinden bir akım darbesi geçirilmesi; burada manyetik referans biti (2) ile polarize olmuş akımın spinleri manyetik depolama bitine (3) doğru yazma metal elektrotunun (14) içine nüfuz etmekte ve manyetik depolama bitinde (3) spinlerle aynı yön boyunca mıknatıslanma uygulamaktadır.

Bilgiler manyetik depolama bitine (3) yazılmadan önce, ilk olarak, referans katmanlar (9) (bir kez) sıfırlanır (initialized), yani kumanda kutusu (16) vasıtasıyla referans elektrot

(11) (Ta, Pt gibi bir ağır metal) içinden bir akım geçirilmek suretiyle manyetik referans biti (2) mıknatıslanması başlatılır. Ta gibi negatif spin hall açılı bir malzeme için, Şekil 1'deki gibi +x yönüne doğru bir akım (soldan sağa), +y yönü boyunca spin polarize olmuş saf spin akımını manyetik referans bitine (2) doğru (-z yönü boyunca) gönderir. Bu akım, manyetik referans bitinde (2) "1" biti olarak tanımlanan +y yönü boyunca mıknatıslanma uygulamaktadır. Pt gibi pozitif spin hall açılı bir malzeme için, -x yönüne doğru bir akım, +y yönü boyunca spin polarize olmuş -z yönü boyunca manyetik referans bitine (2) doğru ilerleyen bir saf spin akımı oluşturmaktadır. Bu akım, manyetik referans bitinde (2) "1" biti olarak tanımlanan +y yönü boyunca mıknatıslanma uygulamaktadır.

Referans katmanından (9) manyetik depolama bitlerine (3) bilgi akışı, Şekil 2'de gösterildiği gibi saf spin akımlarının lokal olmayan enjeksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Manyetik depolama bitinin (3) durumu, manyetik referans bitinin (2) içinden geçen akımın yönü ile belirlenmektedir. Akım darbesi, yazma metal elektrotundan (14) referans elektrota (11) (Ta) cihaz içinden (+z yönünde) aktığında; manyetik referans biti (2) ile polarize olmuş spinler manyetik depolama bitine (3) doğru yazma metal elektrotunun (14) içine nüfuz etmekte ve manyetik depolama bitinde (3) +y yönü boyunca mıknatıslanma uygulamaktadır ve manyetik depolama biti (3) "1" olarak yazılmaktadır.

Yukarıda açıklanan manyetik bellek cihazı (1) ve kumanda kutusu (16) kullanılarak bir manyetik depolama bitine (3) "0" (yani, manyetik depolama bitinde (2) -y yönünde mıknatıslanma) yazma yöntemi aşağıdaki adımları içermektedir:

- değiştirilecek manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir yazma metal elektrotu (14) ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen ve yönü +y yönü boyunca mıknatıslanmış olan bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- referans elektrottan (11) yazma metal elektrotuna (14) doğru manyetik referans biti (2) üzerinden bir akım darbesi geçirilmesi; burada akımın içindeki manyetik referans biti (2) ile ters yönde polarize olmuş spinler manyetik referans bitinden (2)

saçtırılmakta ve manyetik depolama bitine (3) doğru ilerleyerek manyetik depolama bitinde (3) spinlerle aynı yön boyunca mıknatıslanma uygulamaktadır.

-y yönü (düzlem içi yönü) boyunca manyetik depolama bitindeki (3) mıknatıslanma olan "0" yazabilmek için, ilk olarak manyetik bit (2) yukarıda açıklandığı gibi sıfırlanmaktadır (manyetik referans biti (2) önceden sıfırlanmış ise bu adım atlanmaktadır). Manyetik referans biti (2) sıfırlandıktan sonra, kumanda kutusu (16) tarafından üretilen bir akım darbesi Ta katmanı olan referans elektrottan (11) Cu katmanı olan yazma metal elektrotuna (14) doğru (manyetik referans biti (2) içinden –z yönünde) geçirilmekte; -y yönünde polarize olmuş spinler manyetik referans bitinden (2) saçılmakta ve –z yönü boyunca manyetik depolama bitine (3) doğru hareket etmekte ve manyetik depolama bitinin (3) mıknatıslanmasını –y yönüne doğru değiştirmektedir.

Manyetik bellek cihazı (1) ve kumanda kutusu (16) kullanılarak bir manyetik depolama bitinin (3) bilgilerinin okunması yöntemi aşağıdaki adımları içermektedir:

- okunacak manyetik depolama biti (3) ile temas halinde olan bir okuma metal elektrotu (15) ve manyetik depolama bitinin (3) üzerine yerleştirilen bir manyetik referans biti (2) ile temas halinde olan bir referans elektrot (11) seçilmesi,
- referans elektrottan (11), akımın manyetik referans biti (2) ve manyetik depolama bitinin (3) nispi oryantasyonuna bağlı olarak yüksek veya düşük bir direnç değeri verdiği okuma metal elektrotuna bir akım darbesi geçirilmesi,
- manyetik bitlerin direncinin algılanması,
- direncin önceden belirlenen bir değerden daha yüksek veya düşük olması halinde direncin bu değer ile karşılaştırılması yoluyla her bir bellek elemanının ikili durumunun manyetik bitlerin direnci temel alınarak belirlenmesi ve
    - direnç söz konusu değerden daha düşük olduğu takdirde, manyetik depolama biti (3) üzerindeki bilgilerin "1" olarak algılanması,
    - direnç söz konusu değerden daha yüksek olduğu takdirde, manyetik depolama biti (3) üzerindeki bilgilerin "0" olarak algılanması.

Bir okuma işlemiyani manyetik depolama bitlerinin (3) durumunun algılanması Dev Manyetik Direnç (GMR) etkisi vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir, çünkü referans katmanı (9), depolama katmanı (13) ile birlikte spin-valf yapısı oluşturmaktadır. Şekil 3'te gösterildiği gibi, manyetik referans biti (2) ve manyetik depolama bitinden (3) akım darbesi geçirilirken (dolayısıyla kumanda kutusu (16) tarafından üretilen akım, referans katmanından (11), Ta, okuma metal elektrotuna (15), Cu, veya bunun tam tersi yönde ilerlemektedir), kumanda kutusu (16) vasıtasıyla manyetik bitlerin elektrik dirençlerinin okunması, manyetik referans bitleri (2) ve manyetik depolama bitlerinin (3) nispi oryantasyonuna bağlı olarak yüksek veya düşük bir direnç değeri vermektedir. Örneğin, iki bit (manyetik referans biti (2) ve manyetik depolama biti (3)) mıknatıslanma yönü birbirlerine paralel olduğu takdirde, bu, manyetik depolama bitinin (3) durumunun "1" olduğu anlamına gelmektedir ve kumanda kutusu (16) (ör. algılama devresi) tarafından, algılanan direncin kumanda kutusu (16) içindeki bellekte depolanan bir referans değeri ile karşılaştırılması yoluyla düşük bir direnç algılanmaktadır. Bitlerin direnci yüksek olduğu takdirde (ki bu, algılanan direnç değerinin bellekte depolanan referans değerden daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir), manyetik depolama bitinin (3) mıknatıslanması manyetik referans bitinin (2) mıknatıslanmasına terstir ve manyetik depolama bitinde (3) depolanan bilgiler "0" olarak algılanmaktadır.

Mevcut buluşun üç boyutlu bir çizimi; manyetik bit dizinleri (referans ve depolama) ile birlikte elektrot oryantasyonlarının gösterildiği Şekil 5'te verilmektedir. Altında manyetik referans biti (2) dizinleri bulunan referans elektrot (11) yatay dizinlerinden oluşan bir katman, referans katmanını (9), RL, tanımlamaktadır. Yüksek spin hall açılı malzemeden yapılmış referans elektrotlar (11), +x yönü boyunca ilerleyen manyetik referans bitlerinin (2) üzerinde çizgiler oluşturacak şekilde yerleştirilmekte olup, her biri i'nin sıra numarası olduğu RL1-ri olarak etiketlenmektedir. Depolama katmanı (13), j'nin sütun numarası olduğu SL1-cj etiketlerine sahip olan ve üstlerindeki manyetik depolama biti (3) dizinleri ile +y yönünde hizalanmış olan okuma metal elektrotları (14) sütunlarından oluşmaktadır. Depolama katmanındaki (13) manyetik depolama bitleri (3); her bir bit, bilgi okumak veya yazmak için referans olarak kullanılan bir manyetik referans bitinin (2) altına konumlandırılacak şekilde yerleştirilmektedir. Bu tasarımda

her bir bite; referans elektrotlarının (11), yazma metal elektrotlarının (14) ve okuma metal elektrotlarının (15) uygun seçimi ve ilgili elektrot sıra ve sütun numaraları ile ricj olarak etiketlenenerek bireysel olarak erişilebilmektedir. Örneğin, birinci depolama katmanındaki (13) rlc2 bitine erişmek için, bir güç kaynağına bağlı bir elektronik cihaz (ör: bilgisayar veya telefon, tablet PC gibi bir akıllı cihaz) içindeki kumanda kutusu (16) tarafından RL1-r1 referans elektrotu (11) ve SL1-c2 alt elektrotu (15) seçilmekte ve bitin okunması için kumanda kutusu (16) tarafından oluşturulan bir okuma akım darbesi bu elektrotların içinden geçirilmektedir. Bu bite yazmak için, RL1-r1 ve RL1-c2 elektrotları aracılığıyla bir akım darbesi gönderilmektedir.

Şekil 6'da, aynı manyetik bellek cihazının (1) (Şekil 5'teki) iki referans katman ve iki depolama katmanı ile kutu şeklinde bir şeması gösterilmektedir. Bu çizim, Şekil 6'da gösterilen tekrarlanabilir yığının temelini oluşturmaktadır. Benzer şekilde, bir ikinci depolama katmanı (13), SL2, elektrot ve bit dizini sütunları ile bir birinci depolama katmanı (13), SL1, altına yerleştirilmektedir.

Şekil 6'da çoklu depolama katmanlarının (13) yığınlanması gösterilmektedir. Şekil 6'da verilen bu iki depolama katmanı (13) gösteriminde, her bir depolama katmanı (13) ona karşılık gelen bir referans katmanına (9) sahiptir. Bu tasarımdaki yazma ve okuma işlemlerini gösterebilmek için aşağıdaki örnekler verilmektedir:

- İşlem: SL1'in r1c1 bitine "0" yazma;
  - RL1-rl referans elektrotundan sağa doğru bir akım geçirmek suretiyle r1c1 referans bitini sıfırla
  - RL1-r1'den RL1-c1'e doğru bir yazma akım darbesi geçir
- İşlem: SL1'in r2c4 bitine "1" yazma;
  - RL1-r2 referans elektrotundan sağa doğru bir akım geçirmek suretiyle r2c4 referans bitini sıfırla
  - RL1-c4'ten RL1-r2'ye doğru bir yazma akım darbesi geçir
- İşlem: SL2- r1c4 bitine "1" yazma;
  - RL2-r1'den sola doğru bir akım geçirmek suretiyle RL2'yi sıfırla

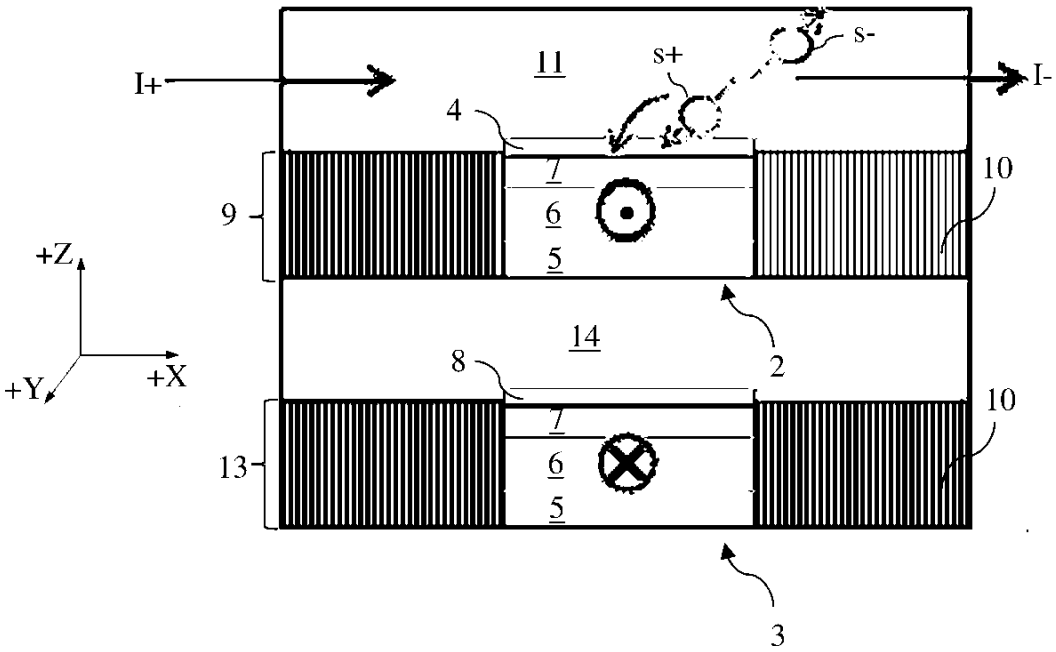
- SL2-c4'ten RL2-r1'ye doğru bir yazma akım darbesi geçir.

- İşlem: SL1-r1c3 bitini okuma;
  - RL1-r1'den SL1-c3'e bir okuma akım darbesi geçir
- İşlem: SL2-r1c3 bitini okuma;
  - RL2-r1'den SL1-c3'e bir okuma akım darbesi geçir

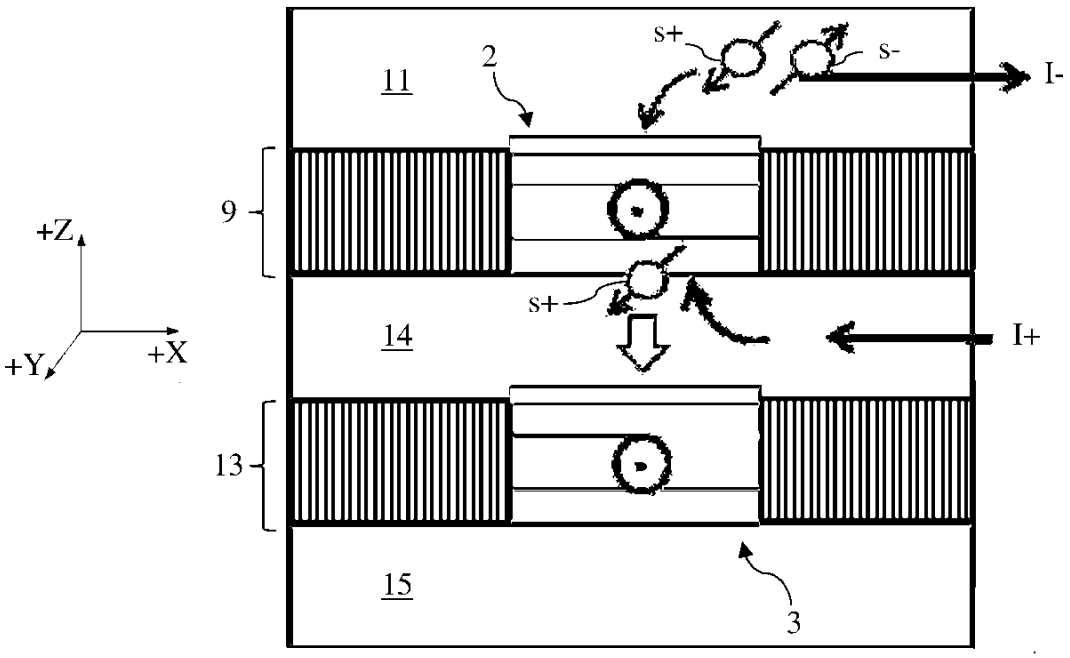
Mevcut buluşun bir uygulamasında, ikiden fazla depolama katmanı (13) elde etmek için Şekil 6'da gösterilen iki depolama katmanından (13) oluşan yığın tekrarlanabilmektedir. Bu uygulamada her bir yığın, bir başka yığının üzerine bağlanmakta olup, burada birbirlerine bağlı iki bitişik yığının üstüne ve altına konumlandırılan referans katmanları (9) bir yalıtım malzemesi (10) (ör. SiO_2) ile izole edilmektedir. Tek sayılı depolama katmanları (13), birinci depolama katmanı (13) SL1 ile benzer şekilde okunabilmekte veya yazılabilmekte ve çift sayılı depolama katmanları (13), yukarıda bahsi geçen ikinci depolama katmanı (13) SL2 ile benzer şekilde okunabilmekte veya yazılabilmektedir.

Mevcut buluşun tercih edilen bir uygulamasında, ikiden fazla depolama katmanı (13) elde etmek için Şekil 6'da gösterilen iki depolama katmanından (13) oluşan yığın, Şekil 7'de gösterildiği gibi tekrarlanabilmektedir. Tasarım ayrıca ikinci referans katmanı (9) RL2 ve üçüncü referans katmanı (9) RL3 için bağlı bir elektrot sistemi de içermektedir. Bu uygulamada; bir üst yığın; üst yığının alt kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotlarının (11) iki ucundan birinin, diğer yığının üst kısmına yerleştirilmiş olan referans elektrotlarının (11) iki ucundan birine bağlanması yoluyla oluşturulan ortak referans elektrot (12) dizinleri aracılığıyla üst yığının altında konumlandırılmış olan bir başka yığına (veya daha fazla yığına) bağlanmaktadır. RL3-rl'den sola doğru örneğin kesişim noktasına doğru ve RL2-r1'den sağa doğru giden bir akım darbesi, hem ikinci referans katmanı (9) RL2'yi hem de üçüncü referans katmanı (9) RL3'ü sıfırlayabilmektedir.

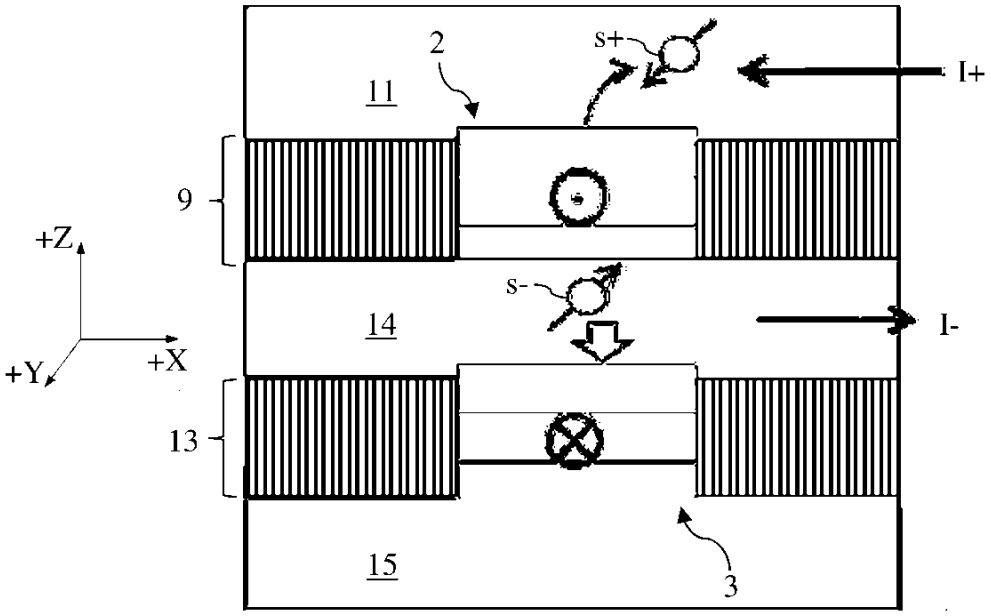
ŞEKİL 1



ŞEKİL 2

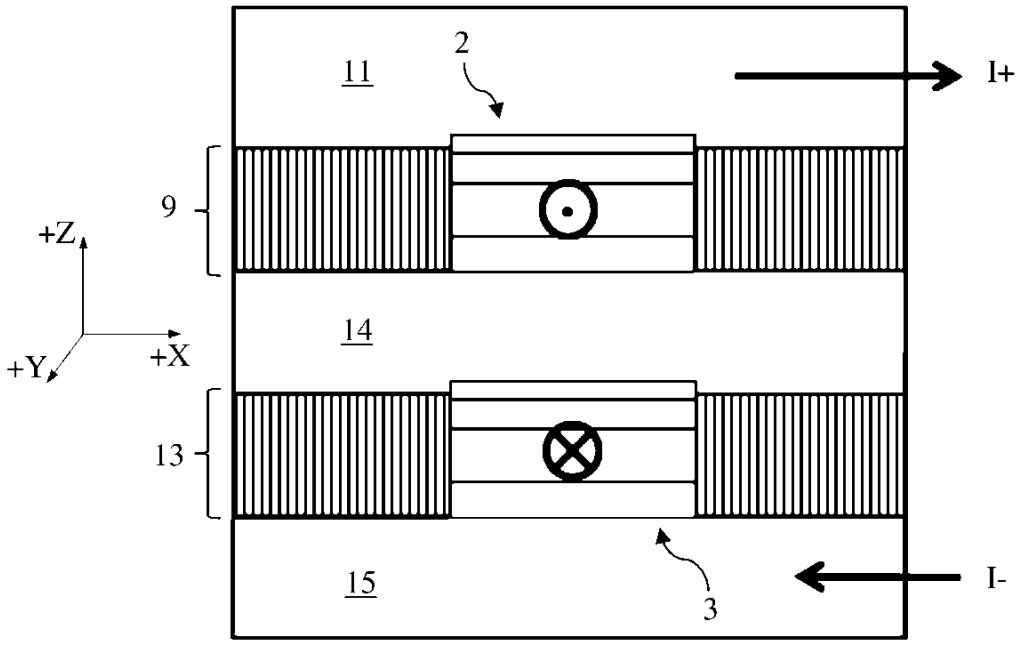


(a)

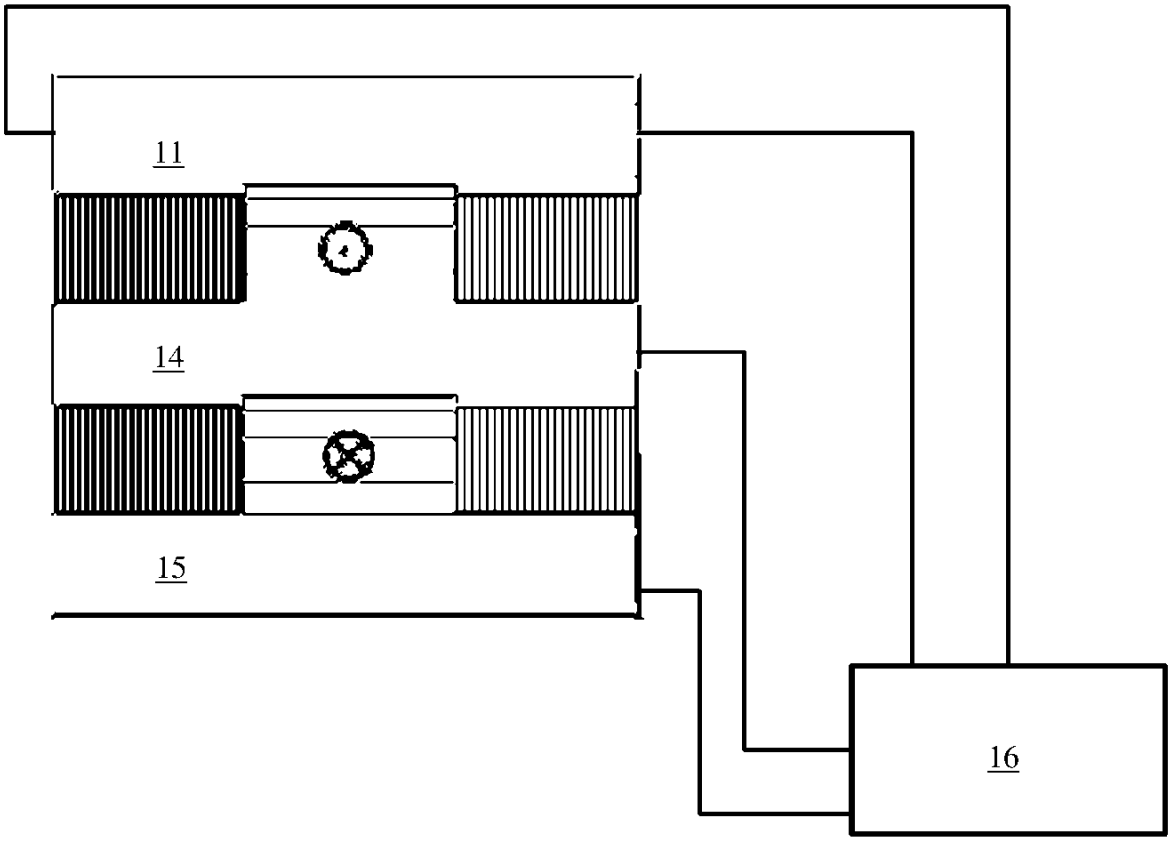


(b)

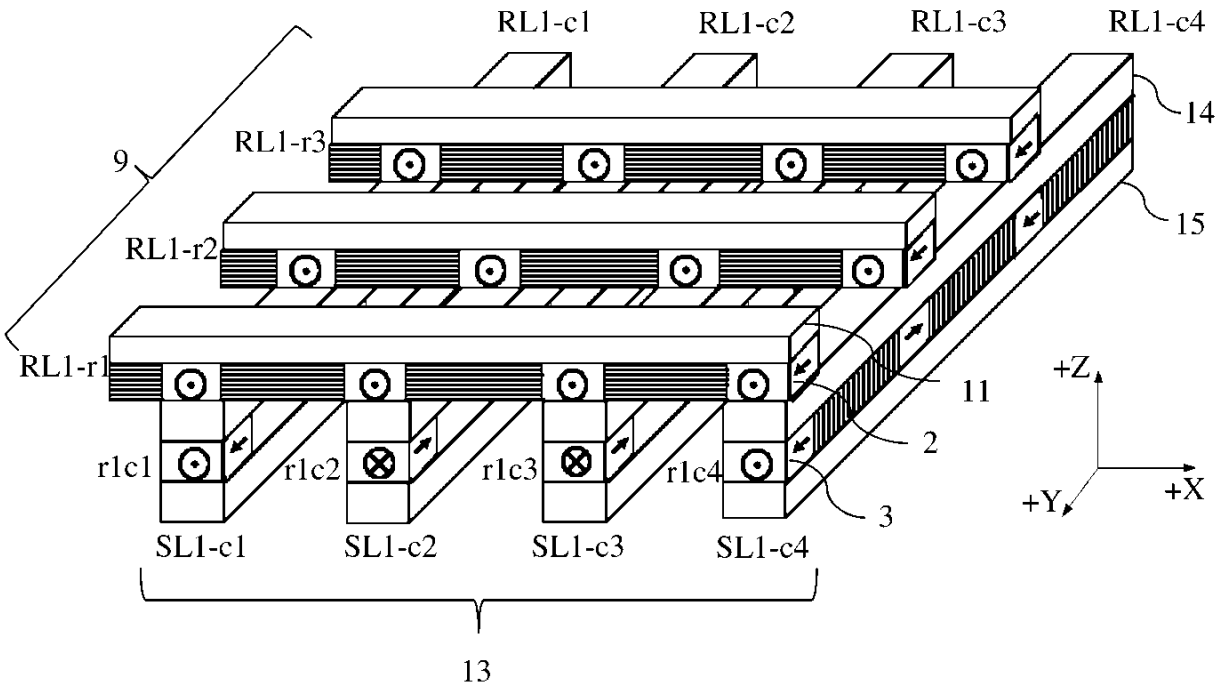
ŞEKİL 3



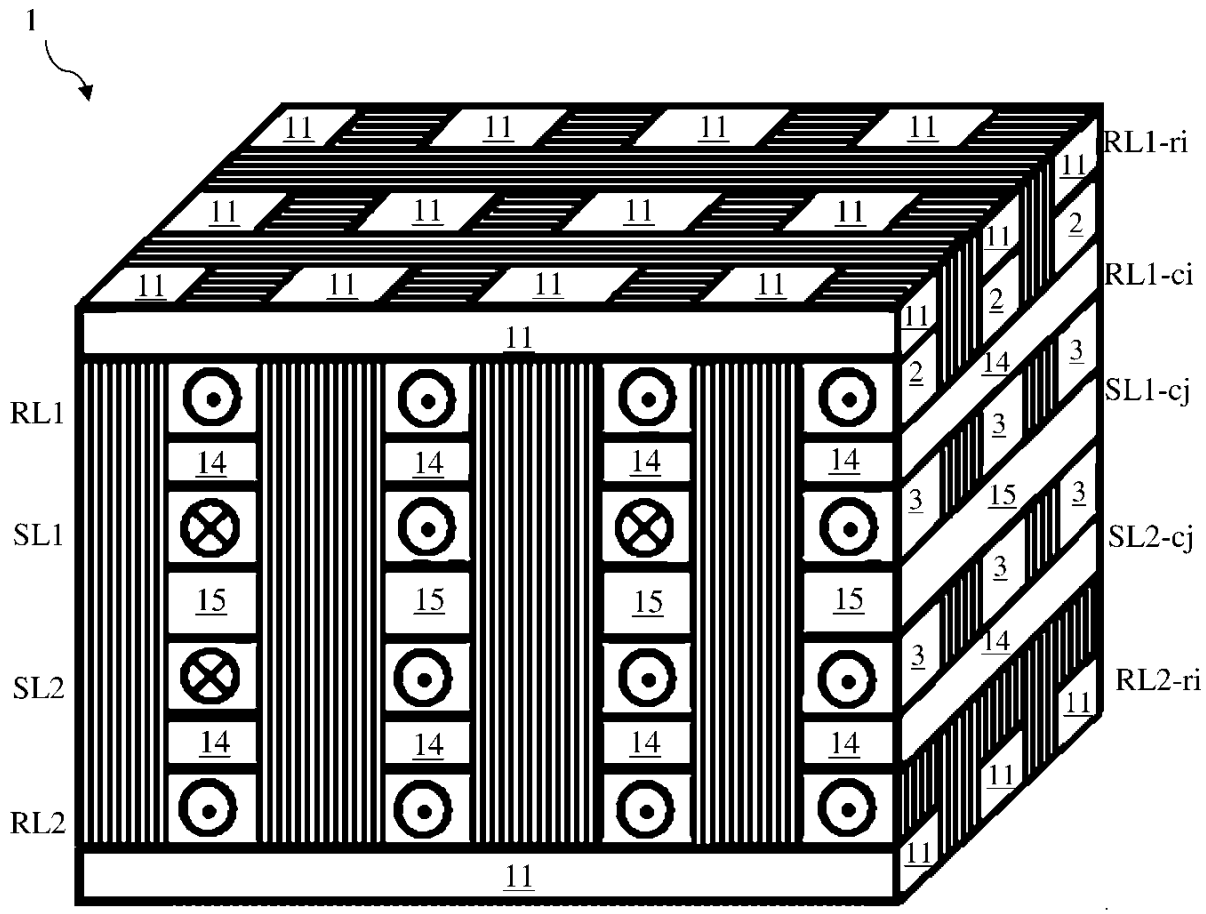
ŞEKİL 4



ŞEKİL 5



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7

