

# İNFORMASIYANIN TƏHLÜKƏSİZ ÖTÜRÜLMƏSİNDƏ İSTİFADƏ OLUNAN YADDAŞ VƏ MƏNTİQ QURĞULARINDA YARIMKEÇİRİCİ NANOELEKTRON ELEMENTLƏRİN TƏTBİQİ

S.N. MUSAYEVA, E.Ə. KƏRİMOV\*

Azərbaycan Texniki Universiteti

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti\*

E-mail: E\_Kerimov.fizik@mail.ru

Məntiq və yaddaş qurğularında yarımkeçirici nanoelektron elementlərin tətbiq olunması inteqrasiya dərəcəsinin təztərin artmasına – bunun nəticəsində də informasiyanın ötürülmənin sürətinin yüksəlməsinə səbəb olur.

**Açar sözlər:** yaddaş qurğusu, nanoelektronika, məntiq qurğusu, informasiya, kondensator, tranzistor.

**UOT:** 004.9

## GİRİŞ.

İnformasiya sistemlərində yaddaş qurğuları mühüm əhəmiyyətə malikdir. Artıq nanoelektronika miniaturlaşmanı, təkcə kompüterlərin deyil, fotoaparatu olan mobil telefonların, pleyer və başqa elektron sistemlərin funksiya və imkanlarını tezləşdirmişdir. Belə informasiya sistemlərinin mükəmməlləşməsi və müxtəlifnövlü yaddaş qurğuları (YQ) arasında rəqabətin olması nəticəsində onların rəngarəngliyi kifayət qədər artmışdır. Elektron YQ-yə misal olaraq operativ dinamik və fləş–yaddaş nəzərdən keçirəcəyik.

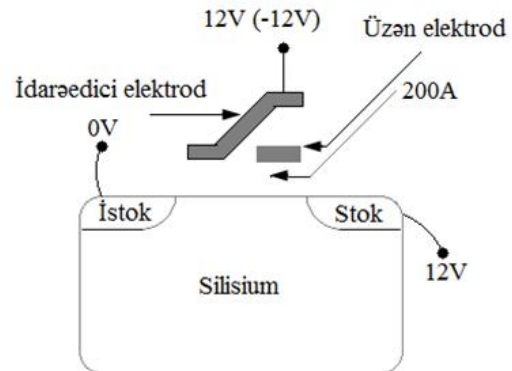
İnteqral yaddaş qurğuları verilənlərin böyük həmini lazımi qədər uzun müddət və etibarlı saxlamalı, minimal güc sərf etməklə informasiyanın daxil edilməsinə və çıxarılmasına imkan yaratmalıdır. İnteqral yaddaş qurğuların əsas funksional elementi özündə minimal sayda inteqral elementi yerləşdirən yaddaş özəyidir.

İxtiyari girişli dinamik yaddaş qurğusu (DRAM) yaddaşında bir və ya dörd bit saxlayan özləklərdən (hesablamanın binar sistemində), onlarda kondensator və tranzistorlardan ibarətdir. Əgər özəyə vahid bit daxil edilirsə kondensator yüklənmiş, özəyə sıfır bit daxil edilirsə kondensator boşalmışdır. Kondensatora ardıcıl birləşdirilmiş tranzistor onun yükü və bu yükü kondensatorda mümkün qədər uzun müddət saxlamaq üçün idarəolunan rezistor kimi lazımdır. Dinamik yaddaş qurğularında kondensatorlar o qədər də böyük həcmə malik deyildir (bu, sahənin minimallaşdırılması və qiymətlərin, həmçinin təztəsinin artırılması ilə bağlıdır).

Dinamik YQ – nanelementlərinin ölçülərinin kiçilməsi zamanı konstruktorlar sahə tranzistorunu kondensatorla birləşdirmiş və bununla da dinamik yaddaş qurğularının rekord səviyyədə kiçik ölçü və qiymətlərinə nail olunmuşdur. Bununla da miqyaslaşdırma ilə kondensator çox kiçik ölçülərə malik olur və yazılmış informasiyanın oxunması zamanı çıxarılan yükü gücləndirmək üçün onu ikinci sahə tranzistoru ilə əvəz etmək lazım gəlir. Elektrik cərəyan mənbəyi olmadıqda operativ yaddaş silinir, yəni yazılmış informasiya itir.

## ÜZƏN İDARƏEDİCİ ELEKTRODLU TRANZİSTOR.

Son illər metal-oksit-yarımkeçirici (MOY) sahə tranzistorunun rezistiv idarəolunan elementi qismində invers kanalından əlavə tunel keçidlərindən istifadə edilir. Yeni elektron YQ-in yaradılması zamanı üzən idarəedici elektrodlu sahə tranzistorlarının istifadəsi təklif olmuşdur (şəkil 1) [1].



Şəkil 1. Üzən idarəedici elektrodlu sahə tranzistorunun sxemi.

Şəkil 1-də idarəedici və üzən elektrodlar dielektrikə daxil edilmişdir. Üzən idarəedici elektroddan silisiumun səthinə qədər olan məsafə 20 nm-dən azdır (adətən 10 nm). Bu tranzistorda idarəedici elektrodda gərginlik vahidə bərabərdir.

Üzən elektrodlu tranzistorda proqramlaşdırma zamanı idarəedici elektroda yüksək (12 V) gərginlik verilir ki, bu zaman elektrik sahəsi yaranır və tunel effekti baş verir. Elektronların injeksiyası olunur (yəni, verilənlərin yazılması). Kanaldan idarəedici və üzən elektroda tunel vasitəsilə keçən elektronlara dəqiq nəzarət etmək mümkündür (kulon bloklanması yada salaq). Bir neçə il saxlana bilən yük enini və deməli, kanalın keçiriciliyini dəyişir ki, bu da yazılan informasiyanın oxunması zamanı istifadə olunur. Qeyd edək ki, verilənlərin yazılması və oxunması zamanı enerji sərfi müxtəlif ola bilər.

İnformasiyanın pozulması üçün idarəedici elektrodla mənfi gərginlik (12V) verilir və elektronlar tunel vasitəsilə üzən idarəedici elektrodun tranzistorun istokuna keçir.

Belə tranzistorun bazasında 1984-cü ildə Fudzi Masuoka (FujiMasuoka) yeni yaddaş fləş-yaddaş haqqında xəbər verdi. Bu, ən məşhur silisiumlu elektron yaddaşdır ki, 90-cı illərin ortalarında maqnit diskləri sıxışdırdı. 2005-ci ildən çoxsəviyyəli fləş-yaddaş qurğularının istehsalı başlandı ki, bunların informasiya həcmi binar qurğuların səviyyəsinə uyğun olmuşdur. Tranzistorların kanallarının uzunluğu 30-40 nm-dir. Qeyd olunmalıdır ki, fləş-yaddaş qurğuları iki növ arxitektura malikdir: “YOX - VƏ” və ya “YOX - VƏ YA” (NAND və NOR). “YOX - VƏ” birinci olmuş “YOX - VƏ YA” arxitekturası isə bir neçə ildən sonra yaranmışdır.

“YOX - VƏ YA” halında hər bir tranzistor sxemin ölçülərini böyüdən individual kontakt həyata keçirməlidir. “YOX - VƏ YA” arxitekturası bu birləşmənin hər bir tranzistora birləşdirilməsi olmadığından sahə, qiymət və tez təsirdə qazanır. Bu zaman bu arxitektura həllər bir-biri ilə rəqabət aparmır və öz tətbiqlərini tapırlar.

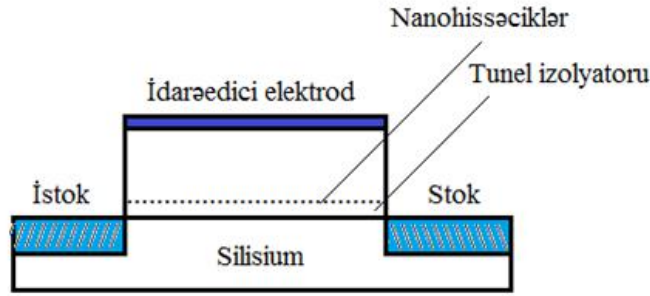
Elektron yaddaş qurğularında nanoelektron elementlərin tətbiqinin ilkin prosesi üzən idarəedici elektrodla MOY – tranzistor ideyasıdır. Bu ideya üzən idarəedici elektrodu nanohissəciklərlə (kvant nöqtələ-

ri) əvəz olunmuş kvant nöqtəvi yaddaş qurğularında sonrakı inkişafını tapmışdır. Nanoölçülü idarəedici elektrodaltı silisium oksidlə kanalın sərhəddinin yaxınlığında yerləşən silisium və ya germanium kristallik dənəciklər Lokal üzən idarəedici elektrodun rolunu oynayır (şəkil 2) [2].

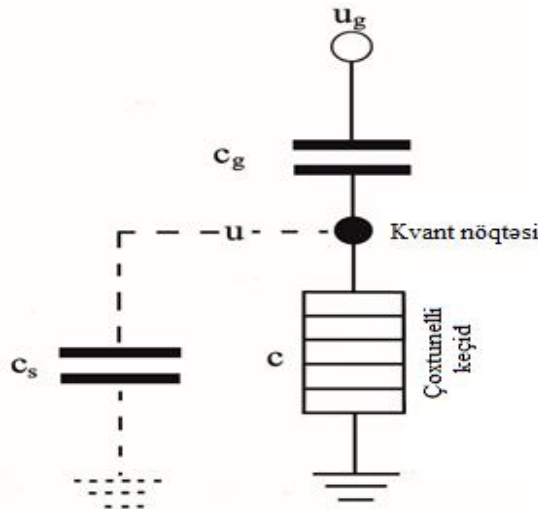
Üzən idarəedici elektrod rolunu oynayan nanohissəcikli tranzistor komplementar texnologiya ilə də hazırlana bilər. Tunelləşmə hər bir nanohissəcikdə yükü nəzarətdə saxlamağa imkan verir. Əgər üzən idarəedici elektrodla tranzistorlarda tunelləşmədə  $10^5$  elektron iştirak edərsə, burada bir hissəcikdə təxminən 10 elektron iştirak edir (etibarlılıq üçün) o da enerji sərfini azaldır.

Çatışmazlıqlar-termiki yolla təsadüfən alınmış nanokristalların ilkin olaraq yaradılmış silisium və ya germaniumun amorf, çox nazik təbəqəsindən verilmiş texnoloji proses üzrə hazırlanmış xüsusi dəqiq təyin olunmuş parametrlə struktur keçidinin vacibliyi ilə əlaqədardır.

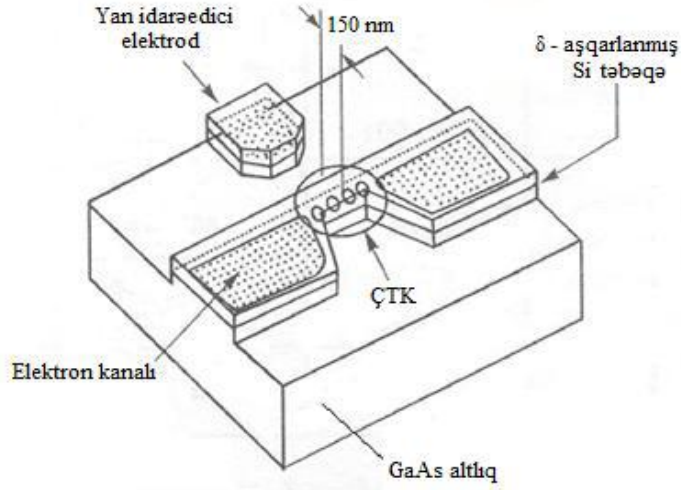
İzolyator üzərində ardıcıl yerləşdirilmiş, aralarında tunelləşmə mümkün olan keçirici adacıklardan (kvant nöqtələri) ibarət zəncir multitunel keçidi (MTJ), ona uyğun yaddaş növü isə multitunel keçidi əsasında yaddaş adını almışdır. Bu qurğular birelektronlu tranzistorların praktiki realizasiyasıdır. Onlar həm binar, həm də bir neçə multistabil hallardan ibarət ola bilər.



Şəkil 2. Nanohissəcikli MOY – tranzistor və birelektronlu tunelləşmənin sxemi.



Şəkil 3. Birelektronlu yaddaş özəyinin prinsiplial sxemi.



Şəkil 4. Multitunel keçidli və yan idarəedici elektrodlu qurğunun sxemi

Belə multitunel qurğunun prinsipial sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir [3]. Qurğunun konstruksiyası [1, 2] arsenid qallium bazası əsasında hazırlanmışdır (şəkil 4) [4].

Arsenid qalliumdan ibarət altlıqda metal-üzvi kimyəvi çökdürmə (MOCVD) üsulu ilə Si-nin  $\delta$  - aşqarlanmış təbəqəsi formalaşır. Sonradan altlığın üzərinə 120 nm dərinliyə qədər aşındırma yolu ilə arsenid qallium yeridilir və bununla, eyni zamanda kvant nöqtəli oblast və kulon blokadası prosesini idarə etmək üçün istifadə oluna bilən yan idarəedici elektrod formalaşır.

Çoxtunelli keçidlər (ÇTK) üzərində qurğular əsasında yaddaş özəyi işlənmişdir (şəkil 3). Qiyməti kulon blokadasını adlamağa imkan verən  $U_g$  - gərginliyi verildikdə  $C_g$ - kondensatoru uyğun gərginliyə qədər yüklənir.  $U_g$  - gərginliyinin sonradan sıfıra bərabər olmaqla azaldıldıqda  $C_g$  tutumu o vaxta qədər boşalır ki, boşalma prosesini kulon blokadası saxlaya bilsin. Bu anda multitunel keçidli qurğuda elektronların sayı artıq olacaq.

Bu zaman  $U$  - gərginliyi sıfırdan kiçik olacaq.  $U \geq -U_{k,b}$  şərti daxilində  $U_{k,\delta}$  - kulon blokadası gərginliyi yaxınlığında məntiqi sıfırın yazılması baş verir.  $U_g$  -yə mənfə impuls gərginliyi qiyməti verildikdə  $U$  - sıfırdan böyük olacaq və kulon blokadasının müsbət gərginliyi yaxınlığında yerləşəcək, başqa sözlə desək,  $U \leq U_{k,b}$  və məntiqi vahidin yazılması qeydə alınacaq.

Yaddaş özəyinin konstruksiyası (şəkil 4) xarakteristikalarına ( $\delta$  - aşqarlanmış Si təbəqə,  $C=5$  pF tutuma malik GaAs təbəqə və  $C_g=200$  pF tutuma malik idarəedici elektrod;  $C_s = 200$  pF parazit tutum) görə təxminən 40 elektron istismar edərək 1 bit informasiyanı saxlamağa imkan verir. Otaq temperaturunda işləmək üçün özəyin ölçüsü 5 nm olmalıdır.

## MAQNİT YQ.

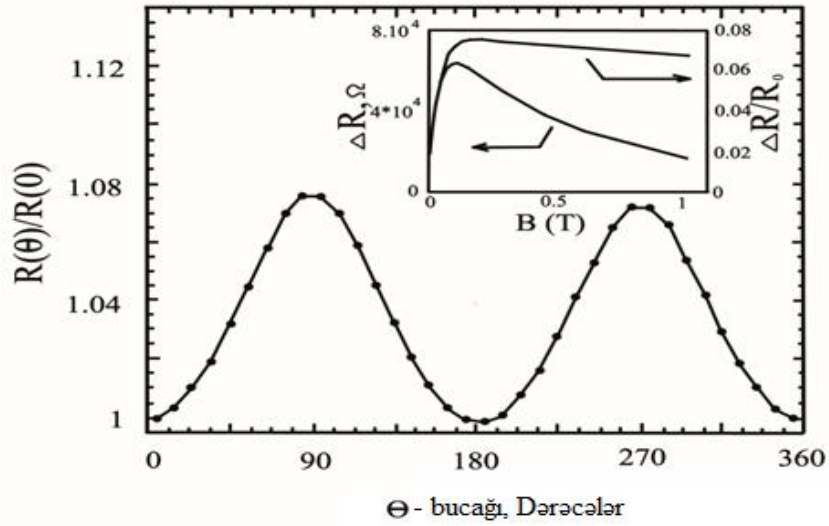
İnformasiyanın rəqəmsal saxlanması analog saxlanması üzərində üstünlüyə malikdir, belə ki, müəyyən  $\pm$  formatında yazılışın deqradasiyası zamanı

korreksiya mümkündür, lakin verilənlərin analog saxlanılmasında bir sıra yolverilən, ancaq ölçüsünə görə müxtəlif siqnallardan istifadə olunur. Əgər bir sıra verilənlər yavaş-yavaş dəyişərsə, onları bərpa etmək mümkün olmur. İndividual kristalları paralel istiqamətdə perpendikulyar istiqamətə nəzərən kifayət qədər uzun olan  $Fe_2O_3$  və ya  $CrO_2$  - kimi ferromaqnetik materiallarda maqnitləşmə uzununa olan istiqamət boyunca yönəlmişdir.

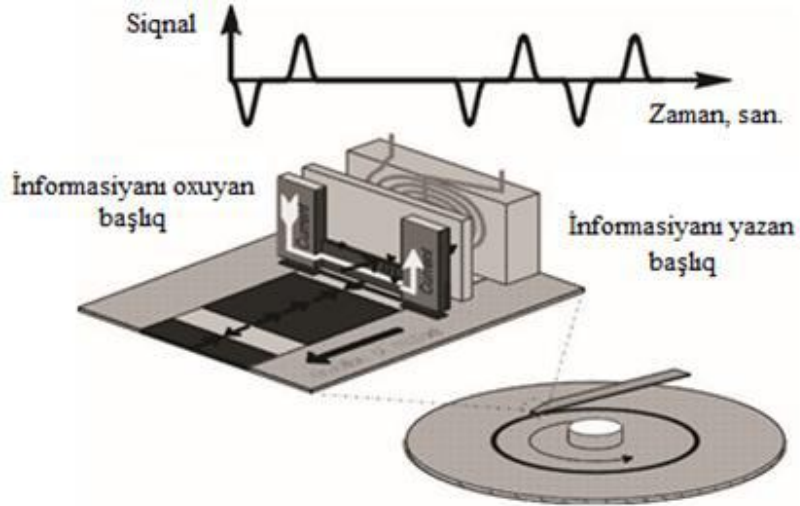
Beləliklə, hər bir kristal aralarında bir yüksək-enerjili çəpər olan maqnitləşmənin iki eyni hüquqlu istiqamətinə malikdir. Belə qurğu maqnitləşmənin iki halı arasında kifayət qədər böyük çəpərin olması nəticəsində analog yazılışı və verilənlərin oxunması üçün istifadə olunur. Maqnit domenlərin kifayət qədər kiçildilməsi problemlidir, belə ki, maqnit oblastları bir-birinə yaxındırlar və paralel maqnitləşmə istiqamətinə malik olan qonşu oblastlar antiparalel maqnitləşmənin qonşu oblastları stabilləşdirdiyi halda, qarşılıqlı maqnitizməyə can atır. Rəqəmsal yaddaş saxlama zamanı hər biri çoxlu sayda maqnit dənəciklərə malik olan maqnit oblastlar həm uzun, həm də dar ola bilər və bir-birindən elə uzaqlaşa bilər ki, maqnitizmə sahəsini azaldar, stabilliyi isə artırır. Rəqəmsal maqnit yazılışında hər bir belə oblast bir bit informasiya saxlayır.

Keçən əsrin 90-cı illərinin axırında maqnit daşıyıcıdan informasiyanın oxunması üçün elektromaqnit induksiya əvəzinə maqnit müqavimətinin (sadəlik üçün maqnit sahəsi mövcud olduqda elektrik müqaviməti deyək) dəyişməsindən istifadə edilməyə başlandı. Bir maqnit materialında elektrik müqaviməti cərəyanın maqnitləşməyə paralel və ya perpendikulyar axmasından asılıdır. Bir çox materiallarda bu fərq otaq temperaturunda o qədər də böyük deyildir. Adətən, orta elektrik müqavimətinin 2-3%-ni təşkil edir.

Şəkil 5-də  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ -nin maqnit müqavimətinin kifayət qədər böyük dəyişməsi göstərilmişdir. Burada belə dəyişmə 8% təşkil edir. Lantan-kalsium manqanatin maqnit keçiriciliyinin maqnit sahəsindən asılılığı şəkilin daxilindəki qrafikdə verilmişdir [5].



Şəkil 5.  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ -nın 160 K dərəcə temperaturda və maqnit sahəsinin intensivliyində  $B=0,5$  T anizotrop maqnit müqaviməti.



Şəkil 6. Müasir sərt diskin quruluşu (oxlarla hərəkətin və ayrı-ayrı sahələrin lokal maqnitləşməsinin istiqaməti göstərilmişdir).

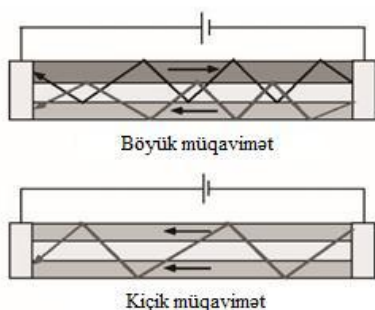


Şəkil 7. İnformasiyanı oxuyan başlıqda maqnit "sendviçi": 1 – fiksə edən təbəqə; 2, 4 – yumşaq maqnit təbəqələri; 3 – qeyri-maqnit təbəqə.

Şəkil 6-da müasir sərt diskin quruluşu və uyğun olaraq informasiyanı yazan induksiya başlığı göstərilmişdir. Bu başlıqda da informasiyanı oxuyan başlıqda olduğu kimi anizotrop və ya çox böyük maqnit müqaviməti istifadə edilir [6].

Maqnit disklər səthə paralel istiqamətdə maqnitlənilir, lakin informasiya sıxlığının artması ilə səthə perpendikulyar istiqamətdə maqnitlənmə haqqında müzakirələr aparılır [7]. Baza maqnitorezistiv başlıq ikikontaktlı dəmir-nikel lentə malikdir. Cərəyan maqnitorezistiv lentin uzunluğu üzrə bu kontaktlar arasında axır və generasiya olunmuş siqnal (gərginliyin düşməsi) diskin maqnitlənmə elementini (ayrı bit) uyğun sahəni keçdiyi an oxumağa imkan verir.

Çox böyük maqnit müqaviməti effektinin açılması zamanı lent maqnit təbəqələrinin biri vasitəsi ilə (şəkil 7) fiksə olunmuş spin ventilinə birləşmişdir. Bir daha qeyd edək ki, əgər cərəyan strukturun uzunluğu boyunca axırsa, maqnit müqavimətinin dəyişməsi effekti özünü daha aşkar büruzə verir (şəkil 8).



Şəkil 8. Cərəyan "sendviçin" uzunluğu boyu axırsa, maqnit müqavimətinin daha güclü dəyişməsi aşkar olunur.

İlk informasiya oxuyan anizotrop maqnit müqavimətinə malik maqnitorezistiv başlıq 1991-ci ildə buraxılmışdır (İBM – şirkəti). Onun ölçüsü 4,5 mkm,

diskin informasiya sıxlığı isə 1,1 QB/mm<sup>2</sup> olmuşdur. Sonralar informasiya sıxlığı kifayət qədər artmışdır (1997-ci ilə kimi 30 dəfə), 1997-ci ildə isə çox böyük maqnit müqaviməti effektini istifadə edən başlıq buraxılmışdır və sonrakı 8 il ərzində başlığın eni 120nm-ə qədər kiçildilmişdir. İnformasiya sıxlığı isə təxminən informasiyanı yazan-oxuyan başlığında çoxtəbəqəli lentin eninin kvadratı qədər artmışdır.

Çox böyük maqnit müqaviməti effekti üzərində işləyən informasiyanı oxuyan başlıqlar iki növ olur: təbəqələrin uzunluğu üzrə axan spin-polyarlaşmış cərəyanlı və perpendikulyar istiqamətdə. Sərt disklərin başlıqlarındakı ferromaqnit təbəqələrdən biri demək olar ki, fiksə olunmuş maqnitlənmə, ikincisi isə maqnit-yumşaq, yəni öz maqnitlənməsi istiqamətini asanca dəyişə bilən maqnit təbəqəsidir. Bu halda, o, zəif maqnit sahələrinə, məsələn, kompüterin sərt diskində yazılmış 1 bitli maqnit qüvvəsinə həssasdır.

Lakin çox böyük maqnit müqaviməti effekti tətbiq olunan başlıqlarla yaddaş qurğularının əsas texnologiyalarında gedən inkişaf bununla bitmədi. 1999-cu ildə dielektriklə ayrılmış maqnit təbəqələrdən ibarət "sandviç" şəklində maqnit-tunel keçidləri yaradıldı. Bunun əsasında ilk böyük potensiala malik verilənlərin yazılmasının ixtiyari seçilməsi (MRAM) texnologiyalı maqnit yaddaş qurğuları alındı.

İBM – firması maqnit y – yaddaş başlıqları üçün spin ventillərinin mükəmməlləşdirilməsinə böyük səy göstərmişdir. Struktur, deqradasiyaya məruz qalmaq üçün kiçik maqnit sahələrinə həssas, ölçüləri kiçik, etibarlı olmalıdır. Cədvəl 1 və 2-də çoxtəbəqəli spin ventillərin 3000-dən çox tədqiqatlarının kombinasiyalarının nəticələri verilmişdir.

Belə spin ventilinə lokal maqnitlənməyə və domenlərin maqnit divarların hərəkətə gətirən spin cərəyanının injeksiyası üçün istifadə etmək olar.

Cədvəl 1  
Maqnit oblastlarının çevrilməsi üçün spin ventilin təbəqələrinin verilənləri

Material	NiO	Co	Cu	NiFe	Cu	Co	NiO	Si
Qalınlıq, nm	50	2,5	2,3	6,1	2,3	2,5	50	–
Funksiya	<i>P</i>	<i>FMT</i>	<i>QT</i>	<i>S</i>	<i>QT</i>	<i>FT</i>	<i>B</i>	<i>A</i>

Cədvəl 2  
Maqnit sahəsinin intensivliyinin çox kiçik qiymətlərində spin ventilin təbəqələrinin verilənləri

Material	Ta	FeMn	Co	Cu	NiFe	Ta	Si
Qalınlıq, nm	4,5	7,5	0,5	2,5	3,5	4,5	–
Funksiya	<i>P</i>	<i>FMT</i>	<i>FT</i>	<i>QT</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>A</i>

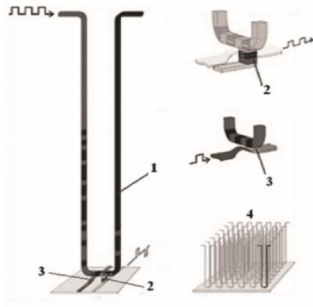
Cədvəl 1 və 2-də gedən işarələr: *P* – passivləşmə; *FMT* – ferromaqnit təbəqə; *QT* – qeyri-maqnit təbəqə; *S* – sensor; *B* – bufer; *A* – altlıq; *F* – fiksəedici təbəqə.

Əgər maqnit-yumşaq materialın (sensorun) altında cədvəl 2-də göstərilirdiyi kimi aşağıdakı təbəqə strukturları təkrar olunarsa: qeyri-maqnit, maqnit fiksəedici, maqnit və altdan passivləşən – simmetrik spin

ventili alınır ki, bu ventil maqnit daşıyıcıya yazılmış informasiyanın lokal kiçik maqnit sahələrinə iki dəfədən də artıq həssas olur.



Bu qurğular fləş-yaddaş və sərt diskləri tezliklə əvəz edəcək. Prototip “qaçış yolu” boyunca yerləşmiş bitləri maqnit oblastlarının divarlarının idarə olunması ilə yaddaş saxlayır və oxuyur. Maqnit oblastlarının sərhədlərinin hərəkəti kütlə daşınması ilə əlaqədar olmur və bu hadisə kiçik enerji itkiləri ilə informasiyanın saxlanması və emal olunması üçün istifadə edilir. Silisium təbəqədə  $1 \times 10$  mkm sahədə prototip 100 bit yaddaş saxlaya bilər və sərt disklərlə rəqabətə girir.



Şəkil 9. U-şəkilli vertikal nanonaqillər üçün “qaçış yolu” tipli yaddaş, ikinci variant: 1 – maqnit materialdan olan nanonaqıl; 2 – maqnit-tunel keçidli informasiyanı oxuyan başlıq; 3 – informasiyanı yazan başlıq; 4 – U-şəkilli nanonaqillər çoxluğu.

Baxılan yaddaş qurğusunda köhnələn hissələr yoxdur. İnformasiya yazılışının sıxlığı nümayiş qurğusuna nisbətən iki tərtib artacaqdır. Bu yaddaş qurğularında informasiya yazan başlığın maqnit domenlərinin divarları adı cərəyan vasitəsilə nanonaqilin (nanonaqilin eni bir neçə nm, uzunluğu isə 1 mkm-dən çoxdur) uzunluğu boyunca generasiya edir. Spin-polyarlaşmış nanosaniyəli impulsların bir qismi nanonaqilin uzunluğu boyunca yazılmış informasiyanın yazılışı və

oxunması zamanı maqnitlənmiş oblastların divarlarının hərəkəti üçün istifadə edilir.

İşlək registrdə yazılmış verilənlər yaddaşda verilir, saxlanılır və dekodlaşdırılır. Bu məqsəd üçün bir çox domen divarları informasiyanı yazan və oxuyan başlıqların kənarından hərəkət edir. İnformasiyanın oxunması maqnit-tunel tezoxuyan başlığın müqavimətinin dəyişməsinin kodsuzlaşdırılması yolu ilə həyata keçirilir. İnformasiyanın yazılma müddəti və maqnit domen divarlarının hərəkəti injeksiya olunmuş müəyyən spinli elektronların spin momentinin təsiri vasitəsilə realizə olunur. Lakin artıq U-şəkilli informasiyanı yazan və oxuyan başlıqlı vertikal nanonaqillərdən istifadə nəzərdə tutulur (şəkil 9).

## NƏTİCƏ.

Yarımkəçirici nanoelektron elementlərin tətbiqi nəticəsində yaddaş və məntiq qurğularında inteqrasiya dərəcəsi və təztəsir artır, nəticədə informasiya ötürülməsinin sürəti də artmış olur. Nanoölçülərə keçdikcə qurğuların ölçüləri nəzərəcarpacaq dərəcədə kiçilir ki, bu da iqtisadi dəyərini aşağı düşməsinə səbəb olur. Yarımkəçirici nanoelektron elementlərin tətbiqi nəticəsində müasir dövrümüzün ən vacib məsələsi olan enerji sərfinin azalması müşahidə olunur. Lakin molekulyar ölçülü cihazlara nəzərən nanoelektron cihazların elementlərinin ölçülərinin alınması bir sıra fiziki və texnoloji məhdudiyyətlərlə qarşılaşır. Deyilənlərin əldə olunması üçün əsas konsepsiyaları tətbiq etmək lazım gəlmişdir: yarımkəçirici qurğularda klassik zərrəciklərin xassələrinə malik olan elektron və deşiklərin daşınması əvəzinə elektronların dalğa təbiəti (elektronların spin halı, tunelləşmə, dalğa funksiyalarının qarşılıqlı təsiri və s.) ilə şərtlənən hal və qanunauyğunluqların dəyişməsi vəziyyətlərindən istifadə edilir.

- [1] A.A. Шука. Физматкнига, 2007, 190 с.  
 [2] Б.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А.Гридин. Москва, Логос, 2006, 186 с.  
 [3] Г.М. Младенов, В.М. Спивак, Е.Г. Колева, А.Г.Богдан. Киев, 2009. 220 с.  
 [4] D.B. Strukov, G.S. Snider, D.R. Steart, R.S. Williams. Moscow, v. 453, May 2008, pp. 80–83.

- [5] P.B. Магеррамов. Молодой ученый. 2017, №2, 166 р.  
 [6] А.А. Давыдов. «Социологические исследования», 2007, №3, с. 119-125.  
 [7] W. Bainbridge. Journal of Nanoparticle Research, 2002, №4, pp. 461-470.

S.N. Musayeva, E.A. Kerimov

## APPLICATION OF SEMICONDUCTIVE NANO-ELECTRONIC ELEMENTS IN LOGIC DEVICES AND MEMORIES DURING INFORMATION TRANSFER

The application of semiconductive nanoelectronic elements in logic devices and memories leads to increasing integration degree and speed capability, that also increases a rate of information transfer.

С.Н. Мусаева, Э.А. Керимов

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ И ПРИБОРАХ ПАМЯТИ ПРИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Применение полупроводниковых нанoelektronных элементов в логических приборах и приборах памяти приводит к повышению степени интеграции и быстродействия, что в итоге повышает и скорость передачи информации.

Qəbul olunma tarixi: 10.07.2019