

Əlyazması hüququnda

ƏMİNƏ RASİM qızı ASLANOVA

SƏTHİ POTENSİAL ÇƏPƏRLİ METAL - SİLİSİUM
KEÇİDLƏRİNİN ENERGETİK STRUKTURUNUN
XÜSUSİYYƏTLƏRİ

2211.01 – Bərk cisim fizikası

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2016

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin «Optika və molekulyar fizika» kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **T.H. İSMAYILOV**

Rəsmi opponetlər: – fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **B.Ş. BARXALOV**

– fizika üzrə elmlər doktoru
İ.M. ƏFƏNDİYEVA

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universiteti,
Fizika kafedrası

Dissertasiyanın müdafiəsi " __21__ " _aprel_ 2016-cı il saat " ____"-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.012 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z. Xəlilov küç. 23, BDU, əsas bina, 437 sayılı auditoriya.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat " ____ " __mart__ 2016-cı ildə göndərilmişdir.

**D.02.012 Dissertasiya
Şurasının elmi katibi:**

f.r.e.n.,dos. M.R. RƏCƏBOV

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKAS

Mövzunun aktuallığı. Metal-yarımkeçirici keçidlərinin (MYK) omik və düzləndirici xassələrə malik olması F.Braun tərəfindən hələ 1874-cü ildə aşkar edilmişdir. XX əsrin əvvəllərində düzləndirici nöqtəvi MYK əsasında çox saylı detektorlar ixtira edilmişdir ki, bu da öz növbəsində radioelektronikanın inkişafına güclü təkan vermişdir. İkinci Dünya Müharibəsi illərində kiçik həcmli radiocihazlara ciddi ehtiyac duyulduğundan, MYK – da baş verən elektron prosesləri aktual problem olaraq, geniş miqyasda tədqiq olunmağa başlanmışdır. Alman alimi V.Şottki ideal (qeyri-məhdud bircins kontakt səthli) metal – yarımkeçirici keçidlərinin fundamental enerji modellərini, H.Bete isə düzləndirici MYK-da cərəyanın mükəmməl termoelektron-emissiyası nəzəriyyəsini işləyib hazırlamışdılar.

Praktikada adətən Şottki diodu (ŞD) və ya səthi potensial çəpərli metal-yarımkeçirici keçid (SPÇ MYK) kimi adlanan düzləndirici MYK, onunla eyni funksional imkana malik p-n keçidlərə nisbətən daha böyük üstünlüklərə malikdir. Belə ki, onlar unipolyardır, yüksək tezliklidir, sadə texnologiya əsasında yaradılır, kiçik enerji sərf edir, inteqral sxemlərlə asan uyğunlaşır və s. Hal-hazırda SPÇ MYK istinasız olaraq müasir elektron texnikasının bütün cihaz və qurğularında, qismən də mikroelektronikada və nanotexnologiyada diskret yarımkeçirici cihaz və inteqral sxem komponentləri kimi geniş istifadə olunur. Bu diodlarda baş verən elektron prosesləri yarım əsrdən çoxdur ki, beynəlxalq miqyasda nəzəri və eksperimental olaraq geniş tədqiq edilir. Son illər yüksək texnologiyaların inkişafı sayəsində hazırlanan yüksək amperli MOY qanovlu ŞD konstruktiv strukturların (TMBS diode) ixtirasına, onlarda baş verən elektron proseslərinin tədqiqinə və praktiki tətbiqinə mühüm diqqət yetirilir. Ənənəvi müstəvi ŞD-dən fərqli olaraq, MOY qanovlu ŞD müasir tələblərə cavab verən xarakterik parametrlərə (kiçik gəginlik düşgüsü, kiçik cərəyan sızması, yüksək kommutasiya tezliyi, böyük deşilmə gərginliyi və s.) malik olur. Bununla yanaşı, nanoqurluşlu ŞD-nin hazırlanmasına və onlarda aşkar edilən unikal xassələrin (potensial çəpərin tənzimlənməsi, sıçrayışlı cərəyan axını və s.) tədqiqinə və tətbiqinə də böyük maraq göstərilir.

İndiyə kimi SPÇ MYK-da baş verən elektron proseslərinin tədqiqi və praktiki tətbiqi sayəsində böyük nailiyyətlər əldə edilmişdir. Bununla belə, real SPÇ MYK - da mövcud fundamental model və nəzəriyyələrdən kənara çıxmalar da (xarakterik parametrlərinin çətin təkrarlanması, vaxtından əvvəl elektrik deşilmə, VAX-ın deqradasiyası və s.) müşahidə olunur. Buna əsas səbəb kimi, əvəllər metal – yarımkeçirici kontaktlarının hazırlanma

texnologiyasının mükəmməl olmaması güman edilmişdir.

Bir sıra fundamental və texniki elmlərin qovşağında formalaşan mikroelektronikanın sonrakı inkişafı əsasında yaradılan müasir litoqrafiya texnologiyası ilə hazırlanan mükəmməl SPÇ MYK - da baş verən elektron hadisələri, nəzəri olaraq güman edilən bir sıra real faktorların (nazik dielektrik aralığının, sıx səth səviyyələrinin və s.) təsiri nəzərə alınmaqla geniş tədqiq edilmişdir. Statistik məlumatlara görə 1970-1980-ci illərdə, dünyada yarımkeçiricilər sahəsində ən çox məqalə metal – yarımkeçirici kontakt hadisələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir. XX əsrin sonuna qədər praktiki mövcud olan bütün yarımkeçiricilərlə müxtəlif metalların mümkün olan kontaktlarında baş verən elektron prosesləri geniş tədqiq edilmiş və real SPÇ MYK - nın praktiki tətbiqində ciddi uğurlar əldə edilmişdir.

Real MYK-da baş verən elektron proseslərinin nanotexnologiyanın inkişafını təmin edən müasir Skanlayıcı zond mikroskopiyaya (SZM) üsulları ilə aparılan geniş tədqiqindən tam aydın oldu ki, müəyyən konfigurasiyaya və həndəsi ölçülərə malik real kontakt səthi praktiki olaraq həmişə elektron emissiyası baxımından qeyri-bircins olur və burada əlavə elektrik sahəsi (ƏES) yaranır. Eyni zamanda, bilavasitə SZM ölçmələrlə müəyyən edilmişdir ki, real MYK-da kontaktın sərhəd səthi və ona toxunan metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri arasında kontakt potensialları fərqi yaranır. Bu səbəbdən də, kontaktı periferiyaya boyunca əhatə edən və qismən də yarımkeçiricinin fəal kontaktaltı hissəsinə daxil olan ƏES əmələ gəlir. Son illərdə Tomsk Dövlət Universitetinin və Rusiya Yarımkeçirici Cihazlar Elmi Tədqiqat İnstitutunun əməkdaşları tərəfindən ilk dəfə olaraq qallium-arsenid əsaslı MYK-nın ƏES-si SZM vasitəsilə bilavasitə ölçülmüş və onun xarakterik xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Hal-hazırda, real MYK-nın elektrofiziki parametrlərinin optimallaşdırılmasında, metal – polimer, metal – üzvi yarımkeçirici, MOS qanovlu ŞD, nanoqurluşlu və digər real keçidlərdə baş verən elektron proseslərində ƏES-nin təsiri geniş tədqiq olunur. ƏES-li metal-silisiyum SPÇ MYK-da potensial cərəyin formalaşmasının, bu keçidlərdə cərəyan, elektrik deşilmə və digər elektron proseslərinin xüsusiyyətlərinin müasir üsullarla tədqiqi mühüm elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edir və bərk cisim fizikası və elektronikasının aktual problemlərindədir. Təqdim olunan dissertasiya işinin mövzusu məhz bu məsələyə həsr edilmişdir.

İşin məqsədi müasir Skanlayıcı zond mikroskopiyaya, elektrofiziki və konstruktiv-texnoloji üsulların tətbiqi ilə, kontakt səthinin emissiya qeyri-bircinsliyi və onun təmasda olduğu metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanması hesabına əmələ

gələn ƏES-ni nəzərə almaqla, səthi potensial çəpərli metal-silisium keçidlərinin enerji strukturunun xüsusiyyətlərini aşkar etməkdir.

İşdə qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakılar yerinə yetirilmişdir:

- Metal (Cu, Ni, Cr, Au, Ag) və silisium əsasında SPÇ MYK nümunələrin hazırlanması üçün müvafiq konstruktiv-texnoloji işləmələr həyata keçirilmiş, müasir fotolitoqrafiya texnologiyası əsasında müxtəlif enə (5 - 40 mkm) malik düzbucaqlı zolaq və diametri üç tərtib (10 - 1000 mkm) intervalda dəyişən dairəvi formalı SPÇ MYK nümunələri müəyyənləşdirilmişdir.
- Nazik silisium lövhələrinin planar səthlərinin və onların üzərindəki müxtəlif metalların nazik təbəqələrinin səthlərinin Skanlayıcı atom-qüvvə və Skanlayıcı tunel mikroskopiya üsulları ilə əldə edilmiş relyef, faza, potensial və cərəyan təsvirlərlə topoqrafik quruluşları öyrənilmişdir.
- Silisium lövhəsinin planar səthində yerləşdirilmiş müxtəlif mikrometrik ölçülərdə dairəvi və düzbucaqlı həndəsi formaya malik metal nazik təbəqələrdən ibarət kontakt səthləri və onların ətrafında yaranan ƏES potensiallarının paylanması Skanlayıcı zond mikroskopiya üsulları ilə tədqiq edilmişdir.
- Müasir ölçü cihazları və texnikasından istifadə etməklə silisium lövhələri üzərinə nazik metal təbəqələri çəkilməklə hazırlanmış müxtəlif konfigurasiyalı SPÇ MYK-nın elektrofiziki, termoelektrik və konstruktiv-texnoloji xarakteristikaları ölçülmüşdür.
- Metal-silisium SPÇ MYK-nın kontakt səthinin emissiya qeyri-bircinsliyi və onun əhatə olunduğu metalla yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanması hesabına yaranan ƏES-nin təsiri altında formalaşan işlək energetik strukturlar yaradılmış və onların xarakterik parametrlərinin qiymətləri təyin edilmişdir.

Elmi yeniliklər. Dissertasiya işində əldə edilmiş mühüm yeniliklər:

- AQM təsvirlər əsasında göstərilmişdir ki, metal-silisium SPÇ MYK-da xətti ölçüləri 50-200 nm olan nanohissəciklərdən ibarət metal nazik təbəqənin qeyri-bircins səthi boyunca xaotik paylanmış 100-500 mV intervalında lokal potensial dəyişməsi nəticəsində ƏES yaranır;
- Metal-silisium SPÇ MYK-da kontakt səthinin onu əhatə edən metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanması hesabına yaranan ƏES, dairəvi və düzbucaqlı formalı metal kontaktlar ətrafında yarımkeçiricinin səthi boyunca eni ~ 10 mkm olan keçid zonası vardır və bu zona daxilində potensialın dəyişməsi, yarımkeçiricinin və metalın

sərbəst səthlərinin arasında yaranan potensiallar fərqi bir neçə yüz millivolt tərtibində olur;

- Kontakt səthinin xətti ölçüləri 100 mkm-dən böyük olan enli SPÇ MYK-da iki potensial çəpərli energetik struktur başlıca olaraq sərhəd səthinin qeyri-bircinsliyi hesabına yaranan ƏES-nin təsiri ilə formalaşır, həmin strukturların elektrofiziki parametrləri kontaktın diametrindən asılı olmur və kontakt səthinin məhdudlaşması hesabına yaranan ƏES-nin təsiri ilə keçiddə vaxtından əvvəl elektrik deşilməsi baş verir;
- Kontakt səthinin xətti ölçüləri 100 mkm-dən kiçik olan ensiz SPÇ MYK-da bir potensial çəpərli energetik struktur, başlıca olaraq kontakt səthinin metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanması hesabına yaranan ƏES-nin təsiri altında formalaşır və onların elektrofiziki parametrləri kontaktın diametrindən asılı olur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiya işində müdafiyyə üçün aşağıdakı müddəalar təqdim olunur:

- Real SPÇ MYK-nın bir-birilə qarşılıqlı təsirdə olan 50-200 nm xətti ölçüyə malik nanokontaktlardan təşkil olunmasının Skanlayıcı Zond Mikroskopiyaya üsulları ilə əldə edilmiş relyef, faza, potensial və cərəyan topoqrafik təsvirləri;
- Metal-silisium əsaslı dairəvi və düzbucaqlı formalı SPÇ MYK-da ƏES-nin yaranması, onun təsiri ilə kontakt ətrafında yarımkeçiricinin səthi boyunca yaranan keçid zonasında AQM ilə bilavasitə ölçülmüş potensialının dəyişməsi, keçid zonasının eninin kontaktın yan səthinin əyrilik radiusu ilə düz mütənasib olması;
- Kontakt səthinin xətti ölçüləri 100 mkm-dən böyük olan enli SPÇ MYK-da iki potensial çəpərli energetik strukturun, başlıca olaraq sərhəd səthinin qeyri-bircinsliyi hesabına yaranan ƏES-nin təsiri ilə formalaşması və həmin strukturların elektrofiziki parametrlərinin kontakt diametrindən asılı olmaması;
- Kontakt səthinin xətti ölçüləri 100 mkm-dən kiçik olan ensiz SPÇ MYK-da bir potensial çəpərli energetik strukturun sərhəd səthinin metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlaşması hesabına yaranan ƏES-nin təsiri ilə formalaşması və həmin strukturların elektrofiziki parametrlərinin kontaktın diametrindən asılı olması;
- Ensiz SPÇ MYK-da VAX-ın düz istiqamətdə ənənəvi müstəvi SPÇ MYK-nın VAX-na oxşar, əks istiqamətdə isə tam fərqli xarakterə malik olması və əks istiqamətdəki cərəyanın, yalnız ƏES-nin təsiri hesabına gərginliyin müəyyən qiymətlərdən başlayaraq yaranması;
- Metal-silisium əsaslı SPÇ MYK-da cərəyanın axınının Skanlayıcı Zond

Mikroskopiya üsulları ilə eksperimental aşkar edilmiş xüsusiyyətlərinin ƏES-li MYK-nın enerji modelləri və cərəyan mexanizmləri ilə birqiymətli interpretasiya olunması.

Alınan nəticələrin dürüstlüyü. Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində kifayət qədər əsaslı fundamental və praktik elmi materiallardan, müasir elektron texnikasının çox sınınilmış texnologiyası olan fotolitoqrafiyadan, AQM və STM kimi zond mikroskopiyası və yüksək dəqiqliyə malik elektrik ölçü cihazlarından istifadə edilmişdir. Alınmış təcrübi nəticələr əsasında hesablamalar isə kompüter texnologiyası əsasında həyata keçirilmiş, SPÇ MYK-ların təcrübi tədqiqindən alınan nəticələr ƏES-li MYK-nın enerji modelləri, cərəyanın yaranma mexanizmləri ilə birqiymətli interpretasiya olunmuşdur.

İşin praktiki əhəmiyyəti. Təqdim olunan dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti,

- İlk növbədə müasir elektronikada metal-silisiyum əsaslı SPÇ MYK-nın həm diskret yarımkeçirici cihazlar, həm də mikro- və nanosxemlərin komponentləri kimi geniş istifadə olunması, eləcə də bu tip strukturlarda baş verən elektrofiziki proseslərin müasir ölçü texnikasında istifadə edilməsi ilə bağlıdır;
- Eyni zamanda real SPÇ MYK-da yaranan ƏES-nin potensialının kontakt ətrafında paylanışının AQM təsvirlərlə bilavasitə aşkar edilməsi və onun həm işlək potensial çəpərin formalaşmasında, həm də cərəyanın yaranmasında fəal rol oynamasının müəyyən olunması, həmin strukturlardan mikro- və nanosxemlərin inteqrasiya dərəcəsinin yüksəldilməsində istifadə olunmasını zəruri edir;
- Ensiz SPÇ MYK-da əks gərginliyin başlanğıc qiymətlərində cərəyanın mövcud olmaması ilə bağlı, həmin strukturlardan prinsipə yeni xassələrə malik diskret yarımkeçirici cihazların hazırlanmasında istifadə edilə bilər. ƏES bu strukturlarda baş verən vaxtından əvvəl elektrik dəşilməsinin təbiətinin aydınlaşmasında və yüksək keyfiyyətli SPÇ MYK əsaslı çeviricilərin yaradılmasında da yararlı ola bilər.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işində əldə olunan elmi nəticələr Respublika və Beynəlxalq konfranslarda məruzə olunmuşdur: «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросхемы» (Ульяновск, 2005, 2006, 2007, 2008) Beynəlxalq Elmi konfranslarında, Gənc alim və magistrlərin (Bakı, BDU, 2005, 2006, 2009) Respublika Elmi konfranslarında, “Фотозлектронике и приборам ночного видения (Москва, 2006, 2008, 2010, 2012) Beynəlxalq Elmi-Texniki

konfranslarında, "Актуальные проблемы физики" (Баку, 2006, 2015) Respublika Elmi konfransında, Gənc alim və mütəxəssislərin "Fundamental və tətbiqi elmlərin aktual problemlərinin həllində mültidissiplinar yanaşmanın rolu" (Bakı, AMEA, 2014) 1-ci Beynəlxalq Elmi Konfransında, Fizikanın Müəssir Problemləri (Bakı, 2007, 2011, 2014) Respublika Elmi konfranslarında, Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransında (Bakı, QU, 2015) məruzə olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, əsas nəticələr, 169 adda istinad edilmiş ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işində alınmış nəticələr 52 şəkil və 4 cədvəldə öz əksini tapmışdır.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Dissertasiyanın *giriş* hissəsində tədqiqat işinin aktuallığı əsaslandırılmış, işin əsas məqsədi, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, alınan nəticələrin elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti haqqında məlumat verilmişdir.

Dissertasiyanın *birinci fəslində* son illərin ədəbiyyat məlumatları əsasında müxtəlif konstruktiv struktura malik metal-yarımkeçirici keçidlərin Skanlayıcı zond mikroskopiyaya üsulları ilə əldə edilmiş təsvirləri, elektrofiziki və termoelektrik xassələrinin tədqiqinin nəticələri təhlil edilmiş və dissertasiya işinin məqsədi nəzəri və təcrübi nöqtəyi nəzərdən əsaslandırılmışdır.

Sərhəd səthi bircins və qeyri-məhdud olan metal və yarımkeçiricinin nəzəri olaraq ideal qəbul edilən keçidlərinin omik və düzləndirmə xassələrə malik olmasının fiziki mahiyyətini aydınlaşdıran və praktikada geniş yayılan V.Şottki modelinin səciyyəvi xüsusiyyətləri şərh olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, bu modelə görə MYK-nın omik və diod xassəsinə malik olması, onu əmələ gətirən metal və yarımkeçiricinin kontakt səthlərinin çıxış işləri fərqi və yarımkeçiricinin tipi ilə təyin olunan potensial çəpərlə müəyyən edilir. Eyni zamanda, ideal SPÇ MYK-da cərəyan mexanizmi kimi praktiki cəhətdən özünü doğruldan, Bete tərəfindən hazırlanmış termoelektron-emissiyası nəzəriyyəsinin xüsusiyyətləri araşdırılmışdır.

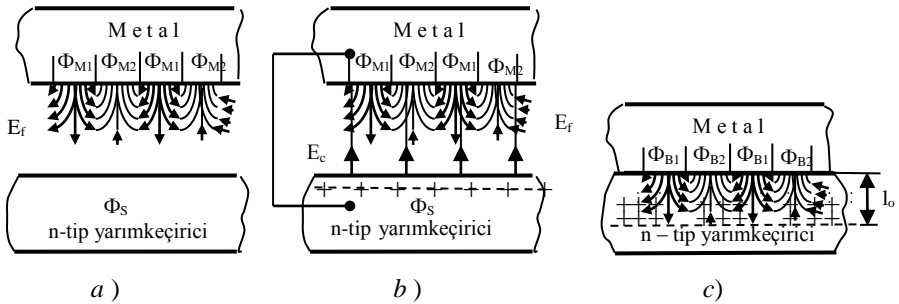
İşdə, ideal SPÇ MYK-nın ndamental model və cərəyan mexanizmlərinin bəzi xüsusiyyətlərindən praktikada kənarə çıxımlar və onların baş verməsi səbəblərinin araşdırılmasına dair aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticələri, real SPÇ MYK-nın keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün təklif olunan müxtəlif növ konstruktiv-strukturlar ətrafı təhlil edilmişdir.

Müasir AQM, STM, SEM və digər ölçü texnikaları vasitəsi ilə aparılan tədqiqatlar sayəsində real SPÇ MYK-nın ideal keçidlərdən fərqləndirən iki səciyyəvi əlaməti müəyyən edilmişdir. Bunlardan biri, real MYK-nın

kontakt səthinin elektron emissiyası baxımından qeyri-bircins olması, digəri isə kontakt səthinin, onunla təmasda olan metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanmasıdır. Real MYK-da bu iki səciyyəvi əlamət hesabına ƏES yaranması [1] və onun SZM üsulları ilə bilavasitə ölçülmüş xüsusiyyətləri ətraflı təhlil edilmişdir.

Göstərilmişdir ki, real MYK-da polikristal metal elektrodun səthi boyunca lokal çıxış işi, səth hissəciklərinin kristalloqrafik istiqamətinin müxtəlifliyi və səthdə yad atomların, defektlərin, dislokasiyaların və s. olması hesabına təqribən 1 eV-a qədər fərqlənir. Aralarında kontakt potensiallar fərqi yaranan və metal səthində xaosluq paylanan hissəciklər üzərində müvafiq ləkə elektrik sahəsi əmələ gəlir. Bu ƏES-nin intensivliyi metalın bir qrup hissəciklərinin səthindən çıxıb, digər qrup hissəciklərinin səthinə daxil olur və bu səbəbə görə metal hissəcikləri iki qrupa bölünür.

Əgər çıxış işi Φ_S olan n-tip yarımkeçirici ilə kontakt yaradacaq metalın səthi, çıxış işləri Φ_{M1} , Φ_{M2} olan iki növ hissəciklərdən ibarət olarsa, $\Phi_S < \Phi_{M1} < \Phi_{M2}$ şərti daxilində metalın səthində intensivliyi E_f olan ƏES yaranar (Şəkl.1a).

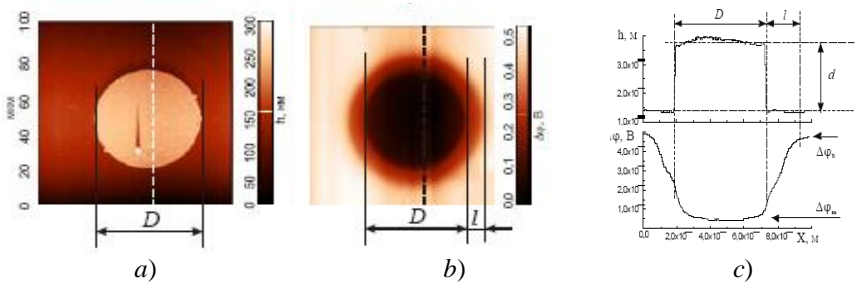


Şəkl.1. ƏES-li səthə malik metal ilə n-tip yarımkeçiricinin (a), naqıl ilə birləşdirilmiş (b) və bilavasitə kontakt (c) hallarının sxematik təsvirləri.

Metal ilə yarımkeçirici naqıl ilə birləşdirilərsə, onlar arasında kontakt potensiallar fərqi və intensivliyi E_c olan elektrik sahəsi yaranar (Şəkl.1b). Burada, E_f və E_c intensivliklərinin istiqamətləri Φ_{M1} hissəcikləri üzərində bir-birinə əks, Φ_{M2} hissəcikləri üzərində isə - eyni olar. Metal bilavasitə yarımkeçirici ilə kontakt edildikdə, ƏES kontaktaltı hissəyə daxil olur və orada baş verən elektron proseslərində fəal iştirak edir (Şəkl.1c).

Real MYK-nın kontakt səthi qeyri-bircins olmaqla yanaşı, həm də metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanır. Çıxış işləri $\sim 4-5$ eV olan metal və yarımkeçirici bilavasitə kontakt edildikdə, sərhəd səthində hündürlüyü ~ 1 eV olan potensial çəpər əmələ gəlir. Kontakt səthi ilə ona toxunan metal və yarımkeçiricinin sərbəst səthləri arasında yaranan

potensiallar fərqi hesabına da yarımkəçiricinin kontaktalı hissəsində, intensivliyi kontakt səthindən çıxıb, onu əhatə edən sərbəst səthlərə daxil olan ƏES yaranır. Şək.2-də Au-nGaAs MYK-da yaranan ƏES-nin AQM ilə bilavasitə ölçülmüş relyef, potensial və profil təsvirləri göstərilmişdir [2]. Aydın görünür ki, GaAs üzərində diametri $D=50$ mkm və qalınlığı $\sim 0,1$ mkm olan Au təbəqəsinin (a,c) ətrafında, ƏES-nin təsiri ilə potensial dəyişməsi $0.6V$ və eni $l \sim 30$ mkm olan halqa (b,c) yaranır.



Şək.2. Au-nGaAs SPÇ MYK-nın AQM ilə çəkilmiş relyef (*a*), potensial (*b*) təsvirləri və onların üzərindəki qırıq-qırıq xətlər üzrə profilləri (*c*).

Ədəbiyyat icmalının təhlilindən aydın olur ki, real SPÇ MYK-nın enerji quruluşuna, kontakt səthinin xətti ölçüləri ~ 100 mkm-dən böyük olan halda kontaktın qeyri-bircinsliyinin, kiçik olan halda isə kontaktın məhdudluğunun hesabına yaranan ƏES-nin təsiri üstünlük təşkil edir. Bu səbəbdən də real SPÇ MYK ikiçəpərli və birçəpərli enerji strukturları ilə təsvir olunurlar. Belə bir mühüm nəticə isə dissertasiyanın məqsədinə nail olmaq üçün görülən elmi-tədqiqat işlərinin müəyyən edilməsinin əsasını təşkil etmişdir.

Dissertasiyanın *ikinci fəslində* SPÇ MYK-nın nümunələrinin hazırlanmasının texnoloji mərhələləri və eksperimental ölçmələr verilmişdir.

SPÇ MYK hazırda mövcud olan bütün yarımkəçiricilər və müvafiq metallar əsasında hazırlanmış, onların xassələri öyrənilmişdir. Lakin, praktiki cəhətdən böyük əhəmiyyət kəsb etdiyi üçün silisium və qallium arsenid yarımkəçiriciləri əsasında hazırlanan MYK-nın tədqiqi daha geniş miqyasda aparılmış və onların xarakterik xüsusiyyətləri ətraflı müəyyən edilmişdir. Bu baxımdan, mətbuatda olduqca az öyrənilən ƏES-nin təsiri ilə MYK-da baş verən elektron proseslərin daha dolğun izah etməyin mümkün olması üçün və hazırda elektron cihazqayırmada geniş istifadə olunan silisium əsasında MYK nümunələrinin seçilməsi məqsədə uyğun hesab edilmişdir.

Tədqiq işində yarımkəçirici cihazların istehsalı üçün nəzərdə tutulan,

planar səthi yüksək dərəcədə cilalanmış silisium nazik lövhələrindən və yüksək təmizlik dərəcəsinə malik Cu, Au, Ni, Ag və Al metallardan istifadə olunmuşdur. Nümunələrin konstruktiv quruluşlarından asılı olaraq müxtəlif texnoloji mərhələlərdən istifadə olunmuşdur.

MYK-nın hazırlanmasının vacib mərhələlərindən biri metal nazik təbəqəsini yarımkeçirici səthinə çökdürməzdən əvvəl onun planar səthi təbii çox nazik oksid təbəqəsindən, kənar atom və ionlardan təmizlənməsidir. Bu məqsədlə standart RCA metodundan istifadə edilmişdir.

Silisium lövhəsinin səthinə nazik metal təbəqələr vakuumda buxarlandırma üsulu ilə həyata keçirilmişdir. Çoxfunksiyalı imkanlara malik bu qurğuda yaradılan 10^{-6} Torr tərtibində vakuumda elektron topu və ya RF tozlandırıcısı ilə Si lövhəsi üzərinə qalınlığı 0,1-0,3 mkm intervalında olan nazik təbəqə 1-4 A/s sürətlə çökdürülmüşdür. Nümunələrin hazırlanma prosesində standart fotolitoqrafiya texnologiyasından istifadə olunmuşdur.

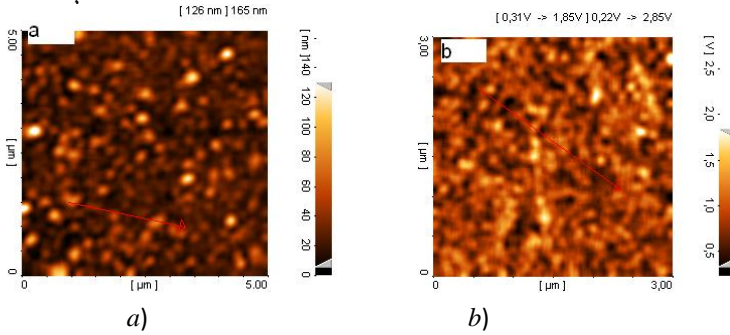
Tədqiq olunan MYK-nın elektrofiziki parametrlərinə onların kontakt səthinin həndəsi ölçülərinin təsirini öyrənmək üçün eyni texnoloji şəraitdə müxtəlif diametrlili (5-1000 mkm) halqa formalı və eni 4-40 mkm, uzunluğu 200 mkm olan zolaq formalı MYK-dan istifadə edilmişdir.

Nümunələrin volt-ampere (I-V) və volt-farad (C-V) xarakteristikalarını ölçmək üçün standart qurğulardan və cihazlardan istifadə edilmişdir. Bu işdə Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə kontakt edilən metal və yarımkeçiricilərin sərbəst səthlərinin və onların kontakt səthlərinin müxtəlif təsvirlərlə (relyef, faza, potensial və cərəyan) topoqrafiyasının alınması ilə əlaqədar Dualscope/Rasterscope C26, DME, Denmark Technical specifications for DS 95-50-E istifadə edilmişdir.

Dissertasiyanın *üçüncü fəslində* metal-silisium əsaslı kontakt səthinin emissiya qeyri-bircinsliyi hesabına ƏES-nin yaranmasının AQM tədqiqatlarının iki və üç ölçülü relyef, faza və potensial təsvirləri verilmiş, diametrləri 100 – 1000 mkm intervalda yerləşən, nisbətən enli SPÇ MYK-nın düz və əks istiqamətlərdə voltamper xarakteristikalarının, periferiya cərəyanlarının və elektrik deşilməsinin, bunlara metalın təbiətinin və temperaturun təsirinin tədqiqatının nəticələri, belə keçidlər üçün müəyyən edilmiş iki potensial çəpərli enerji quruluşları və onların müvafiq parametrləri verilmişdir.

Kontakt materialı kimi istifadə olunan silisium lövhələrinin planar səthi, kimyəvi işlənmə əməliyyatından sonra KZ-AQM vasitəsi ilə tədqiq edilmişdir. Səthin nahamarlığını göstərən AQM relyef təsvirindən və kontileverin zonu ilə səth arasındakı potensial fərqinin təsvirindən məlum olur ki, belə səthdə nahamarlıq təxminən 1-2 nm və səth boyunca xaoslu paylanmış potensial fərqinin dəyişməsi isə təxminən 0,01 V

tərtibində olur. Silisium lövhəsinin planar səthinə qalınlığı 0,1-0,2 mkm olan nazik metal (Au,Ag,Cu,Ni,Al) təbəqələri termiki buxarlandırma üsulu ilə çökdürülmüşdür. Bu təbəqələrin səthi KZ-AQM vasitəsi ilə tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, silisium lövhəsinin planar səthi kifayət qədər bircins olsa da onun üzərinə çəkilmiş metalların nazik təbəqələri polikristallik quruluşa malik olur. Belə nazik metal təbəqələrin səthində nanohissəciklərin ölçüləri 50-200 nm tərtibində olur və səth boyunca bir neçə yüz millivolt tərtibində potensial dəyişməsi baş verir. Ag nazik təbəqəsinin səthinin AQM relyef (a) və faza (b) təsvirləri Şək.3.-də göstərilmişdir.



Şək.3. Nazik Ag təbəqəsinin səthinin AQM relyef (a) və faza (b) təsvirləri.

Müxtəlif diametrlı enli SPÇ MYK-in düz istiqamətdə İ-V xarakteristikası əsasında potensial çəpərin effektiv hündürlüyü (Φ_{BF}), xarakteristik kontakt müqaviməti (R_C), ideallıq əmsalı (n_f), mütənasiblik əmsalı (β_f), potensial çəpərin hündürlüyünün 0,3V gərginliyinə uyğun artımı ($0,3 \cdot \beta_f$), kimi elektrofiziki parametrləri hesablanmışdır. Müəyyən olmuşdur ki, SPÇ MYK-nın diametri 100 mkm – dən 1000 mkm-ə kimi artdıqda Φ_{BF} , R_C , n_f və β_f parametrləri praktiki olaraq dəyişmir. SPÇ MYK-nın eni h_L və sahəsi S_L -olan periferiya kontakt səthində potensial çəpərinin Φ_{BL} - hündürlüyünün keçidin effektiv Φ_{BF} - hündürlüyünə nisbətən ~ 40 meV az olmasına baxmayaraq, periferiya cərəyanının nisbətən böyük diametrlı SPÇ MYK-nın ümumi cərəyanında payı nəzərəcarpan qədər çox olmur.

Göstərilmişdir ki, SPÇ MYK-nın əks istiqamətdə İ-V xarakteristikasına periferiya cərəyanlarının təsirini müəyyən edən SPÇ MYK-dan keçən cərəyanın kontakt diametrindən asılılıqları düz xətlə təsvir olunur və onların absis oxu ilə əmələ gətirdikləri meyl bucağının tangensi gərginliyin 3V qiymətinə qədər təqribən 2-yə bərabərdir. Bu nəticə göstərir ki, SPÇ MYK-nın müşahidə olunan İ-V xarakteristikaları əsasən bütün kontakt səthindən keçən cərəyanla xarakterizə olunur. Əks gərginlik artdıqca bu düz xətlərin

meyl bucağının tangensi azalır və gərginlik 6V-a çatdıqda o vahidə bərabər olur, yəni SPÇ MYK-nın İ-V xarakteristikası bütövlüklə periferiya cərəyanından ibarət olur. Müxtəlif diametrlı SPÇ MYK-nın ümumi cərəyanında periferiya cərəyanının G_L payı gərginliyin 10V-dan böyük qiymətlərində 100% təşkil edir. SPÇ MYK-nın periferiya hissəsində İ-V xarakteristikası yarımloqarifmik miqyasda düz xəttlə təsvir olunur və o termoelektron emissiya mexanizmi ilə müəyyən edilir [1]:

$$I_L = S_L A T^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BL} - \beta_L q U}{kT}\right) = S_L A T^2 \exp\left(-\frac{\Phi_{BL}}{kT}\right) \exp\left(\frac{\beta_L q U}{kT}\right) = I_{OL} \exp\left(\frac{qU}{n_L kT}\right)$$

Müəyyən edilmişdir ki, SPÇ metal – silisium keçidlərin Φ_B , R_C və U_B kimi elektrofiziki parametrlər metalın təbiətindən və kiçik ölçülərdə kontakt diametridən asılı olurlar. Müxtəlif metal kontaktlara malik SPÇ MYK-nın Φ_B , R_S , U_B kimi parametrlərinin kontakt səthinin sahəsindən (S) asılılıqları eyni xarakterə malik olurlar və kəmiyyətcə fərqlənirlər. Müxtəlif temperaturalarda SPÇ MYK-nın VAX-nın tədqiqi göstərdi ki, temperaturun 300K-dən 400K-nə qədər artdıqda Φ_B azalır, lakin R_C və n əmsalı artır.

Yuxarıda təqtim olunmuş tədqiqat materialarından aydın olur ki, kontakt səthinin ölçüləri kifayət qədər böyük olan metal – silisium əsaslı SPÇ MYK həm keyfiyyətcə, həm də kəmiyyətcə iki potensial çəpərli energetik quruluşla yaxşı təsvir olunur. SPÇ MYK –nın potensial çəpərinin effektiv hündürlüyü kontaktın mərkəzi hissəsinə nisbətən, periferiya hissəsində kiçik olur.

Dissertasiyanın *dördüncü fəslində* kontakt səthinin, onunla bilavasitə təmasda olan metal və yarımkəçiricinin sərbəst səthləri ilə məhdudlanması hesabına yaranan ƏES-nin AQM tədqiqatlarının iki və üç ölçülü relyef, faza və potensial təsvirləri verilmiş, diametrləri 100 mkm-dan kiçik olan nisbətən ensiz SPÇ MYK-nın düz və əks istiqamətlərdə voltamper xarakteristikalarının, periferiya cərəyanlarının və elektrik dəşilməsinin tədqiqatının nəticələri, belə keçidlər üçün xarakterik olan bir potensial çəpərli enerji quruluşları və onların müvafiq parametrləri şərh olunmuşdur.

Dissertasiya işində, müxtəlif diametrlı (15-100 mkm) Ni-Si SPÇ MYK-nın səthinin AQM ilə əldə edilmiş iki və üçölçülü topoqrafik və potensial təsvirləri, onların en kəsiyinin profili əks olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, ƏES-nin təsiri ilə SPÇ MYK-nın kontaktı

ətrafında yarımkeçiricinin səthində halqavari sahədə potensial kəskin dəyişir. SPÇ MYK-nın kontakt diametri 15 mkm-dən 100 mkm-ə qədər dəyişdikdə ƏES-nin təsiri ilə kontakt ətrafında yaranan potensial halqasının eni təqribən 2 mkm-dən 10 mkm-ə qədər artır və yarımkeçiricinin sərbəst səthindən kontakt səthinə qədər potensial təqribən 500 mV kimi azalır.

Silisiyum lövhəsi üzərində qalınlığı 0,1 mkm, eni 5- 40 mkm və uzunluğu 200 mkm olan düzbucaqlı formalı nazik nikel təbəqəsinin AQM tədqiqindən alınır ki, kontakt ətrafında ƏES-nin təsiri ilə eni təqribən 3-6 mkm olan potensial dəyişməsi zolağı yaranır və yarımkeçiricinin sərbəst səthi ilə kontakt səthlərinin mərkəzinə yaxın hissəyə qədər potensial təqribən 400 mV azalır.

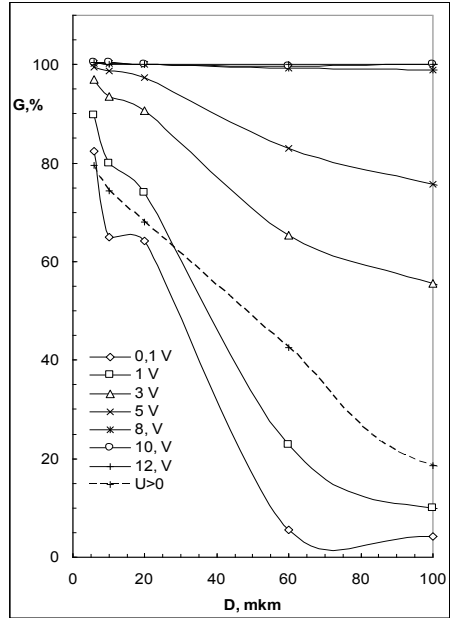
MYK-nın kontakt səthində cərəyanın xüsusiyyətlərini müəyyən edən STM təsvirlərlə müəyyən olmuşdur ki, Cu-nSi SPÇ MYK –a düz istiqamətdə gərginlik (0-0,7V) tətbiq edildikdə, cərəyan bütün kontakt səthi boyunca axır və gərginliyin artması ilə mənzərə dəyişmir. SPÇ MYK -a əks istiqamətdə gərginlik (0-3V) tətbiq edildikdə isə gərginlik 1V-a qədər artdıqda cərəyan periferiya boyunca axmağa başlayır. Gərginliyin artması ilə kontaktın digər hissələrində də cərəyan axması baş verir.

İşdə göstərilmişdir ki, ƏES-nin təsiri ilə diametrləri 6 -100 mkm intervallında olan və eyni texnoloji mərhələrdən keçən ensiz metal-nSi SPÇ MYK -nın düz istiqamətdə İ-V xarakteristikaları ideal SPÇ MYK -da olduğu kimi, yarımloqarifmik miqyasda düz xəttlə təsvir olunur. Bu SPÇ MYK-nın elektrofiziki parametrləri hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, kontakt diametri 6 mkm – dən 100 mkm-ə kimi artdıqda keçidin potensial çəpərinin effektiv hündürlüyü və xarakteristik kontakt müqaviməti artır, lakin ideallıq əmsalı praktiki olaraq dəyişmir. SPÇ MYK -nın elektrofiziki parametrlərinin kontakt diametridən asılılıq xarakteri kontakt səthinin məhdudluğu hesabına yaranan ƏES-nin təsiri dərəcəsinin müxtəlifliyi əsasında baş verir.

Ensiz SPÇ MYK -in əks istiqamətdə VAX iki xarakterik hissəyə bölünür: birinci hissə gərginliyin 0 –dan təqribən 1V-a qədər, ikinci hissə gərginliyin təqribən 1V-dan keçidin elektrik deşilmə gərginliyinə qədər olan intervalları əhatə edir. SPÇ MYK -nın İ-V xarakteristikalarının birinci hissəsində cərəyan, ənənəvi ŞD-lərdə olduğu kimi, gərginlik artdıqca yavaş artır. Müxtəlif diametrlili SPÇ

MYK -nın potensial çəpərinin effektiv hündürlüyü düz istiqamətdə \dot{I} - V xarakteristikasından alınan qiymətlərə təqribən bərabər olur. SPÇ MYK -nın diametri artdıqca n_r adsız əmsalı artır və β_r mütənasiblik əmsalı isə azalır. VAX-ın ikinci hissəsində gərginlik artdıqca cərəyan kəskin artır.

Ensiz SPÇ MYK-nın əks istiqamətdə \dot{I} - V xarakteristikası gərginliyin 3V qiymətinə qədər əsasən bütün kontakt səthindən keçən cərəyanla xarakterizə olunur. Müxtəlif diametrlili SPÇ MYK-nın ümumi cərəyanında periferiya cərəyanının G_L payı müxtəlif gərginliklərdə hesablanmış və onun kontakt diametrindən asılılıqları Şək.4-də



Şək.4. Periferiya cərəyanının VAX-da payının kontakt diametrindən asılılıqları.

göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, gərginliyin 8V-dan böyük qiymətlərində SPÇ MYK -nın VAX-nı tamamilə periferiya cərəyanı təşkil edir.

Bu fəsilə, tədqiq olunan müxtəlif diametrlili ensiz SPÇ MYK- nın eksperimental təyin edilmiş müvafiq elektrofiziki parametrlərinin ədədi qiymətlərinə əsasən qurulmuş, kontakt səthinin məhdudluğu hesabına yaranan ƏES-li SPÇ MYK -nın bir potensial çəpərli enerji strukturu təsvir olunmuşdur.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiya işində aşağıdakı mühüm nəticələr alınmışdır.

1. Skanedicci zond mikroskopiyaya və elektrofiziki üsullarla müəyyən edilmişdir ki, səthi potensial çəpərli metal-silisiyum keçidlərinin fəal kontaktaltı hissəsində kontakt səthinin qeyri-bircinsliyi və məhdudluğu hesabına əlavə elektrik sahəsi (ƏES) yaranır. ƏES-nin təsiri baxımından SPÇ MYK uyğun olaraq bir və iki potensial çəpərli energetik strukturlara malik olan ensiz və enli kontakt səthli xarakterik konstruktiv quruluşlara malik olurlar.

2. Xətti ölçüləri 0,1- 0,2 mkm tərtibində olan hissəciklərdən ibarət metal (Cu, Ni, Cr, Au, Ag) nazik təbəqəli silisium keçidlərinin elektrofiziki parametrlərinin kontaktın diametrindən (10 - 1000 mkm) asılılığının tədqiqindən aşkar edilmişdir ki, kontakt səthinin xətti ölçüləri 100 mkm -dən böyük olan SPÇ MYK- da sərhədin emissiya qeyri – bircinsliyi, kiçik olan SPÇ MYK-da isə kontakt səthinin məhdudluğu hesabına yaranan ƏES-in təsiri üstünlük təşkil edir.

3. Enli metal-silisium SPÇ MYK-da düz istiqamətdə və əks gərginliyin başlanğıc qiymətlərində cərəyan ənənəvi müstəvi Şottki diodlarında olduğu kimi, termoelektron-emissiya mexanizmi ilə təyin olunur. Onların, metalın təbiəti ilə səciyələnən potensial çəpərinin hündürlüyü, ideallıq əmsalı, xarakterik kontakt müqaviməti, adsız əmsalı və s. kimi effektiv elektrofiziki parametrləri kontakt diametrinin ölçülərindən (100 – 1000 mkm) asılı olmur.

4. Enli SPÇ MYK-da kontakt səthinin məhdudluğu hesabına yaranan ƏES-in təsiri əks gərginliyin nisbətən böyük qiymətlərində üstünlük təşkil edir və keçiddə vaxtından əvvəl elektrik deşilməsi baş verir. Kontakt diametri böyüdükcə deşilmə gərginliyi kiçilir və bu asılılıq xətti xarakterə malik olur. Xüsusi müqaviməti 1 Om sm olan silisium əsaslı SPÇ MYK-da, 10V-dan böyük gərginliklərdə VAX praktiki olaraq 100% periferiya cərəyanından ibarət olur.

5. SPÇ qeyri-bircins metal-silisium keçidlərinin potensial çəpərinin effektiv hündürlüyü və ideallıq əmsalı kimi əsas elektrofiziki parametrlərinin əks xarakterli temperatur asılılıqları müəyyən edilmişdir. SPÇ gümüş-silisium keçidinin temperaturu 300K-dan 400 K-a qədər artdıqda onun potensial çəpərinin hündürlüyü 0,775 eV-dan 0,650 eV-a qədər azalmır, ideallıq əmsalı isə 1,12-dən 1,24-ə kimi artır.

6. Ensiz metal-silisium SPÇ MYK-nın düz və əks istiqamətlərdə VAX-larını xarakterizə edən elektrofiziki parametrlər kontaktın həndəsi ölçülərindən asılı olur. Kontakt diametri 80 mkm-dən 6 mkm-ə kimi azaldıqda potensial çəpərin effektiv hündürlüyü və xarakterik kontakt müqaviməti azalır, ideallıq əmsalı isə praktiki olaraq dəyişmir. Keçiddə vaxtından əvvəl elektrik deşilməsi baş verir və deşilmə gərginliyi kontakt diametri artdıqca azalır.

7. Skanlayıcı zond mikroskopiya, elektrofiziki və konstruktiv-texnoloji üsullarla əldə edilmiş eksperimental nəticələr əsasında ƏES-li metal-silisium SPÇ MYK-nın bir və iki potensial çəpərli işlək enerji diaqramları qurulmuş, onların xarakterik parametrləri kəmiyyətcə qiymətləndirilmiş və xarici gərginlikdən asılılıqlarının səciyyəvi xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir.

Dissertasiyanın mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlərin siyahısı

1. Асланова А.Р. Температурные особенности параметров кремниевых поверхностно-барьерных диодов /Труды VII Междунар. Конференции «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросх.», Ульяновск, 2005, с.79
2. Aslanova Ə.R. Metal-silisiyum keçidlərində potensial çərərin hündürlüyünün temperatur asılılığı / Gənc alim və magistrlərin IX Elmi konfransının materialları, Bakı, BDU, 2005, s.59
3. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Зависимость коэффициента неидеальности от высоты барьера диода Шоттки / Тезис докл. XIX Международной Научно-Технической Конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2006, с.206-207
4. Aslanova Ə.R. Periferiya cərəyanının səthi potensial çəpərli diodların elektrik parametrlərinə təsiri / Gənc alim və magistrlərin IX Elmi konfransının materialları, Bakı, BDU, 2006, s.40
5. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Şottki diodunun potensial çərərinin hündürlüyünün metalın təbiətindən asılılığı /Материалы IV Республиканской Научной Конфер."Актуальные проблемы физики", Баку,2006, с.63
6. Асланова А.Р., Гаджиев З.И. Связь между температурными зависимостями высоты барьера и коэффициента неидеальности диода Шоттки // АМЕА, Физика, 2007, т.ХIII, № 1-2, сс.324-326
7. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Зависимости эмиссионных параметров диодов Шоттки от полярности напряжения // АМЕА, Физика, 2007, т.ХIII, № 4, сс.141-143
8. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Температурные особенности деградации вольтамперной характеристики диода Шоттки // Вестник Бакинского Университета, серия физ.мат.наук, 2007, №4.с.196-202
9. İsmayılov T.H., Aslanova Ə.R. Səthi potensial çəpərli metal-silisiyum kontaktlarğatda elektrik deşilməsi // Fizikanın Müasir Problemləri, BDU, 2007, с. 148-150
10. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Зависимость напряжения пробоя диода Шоттки от геометрического размера контакта / Тезис докл. XX Международной Научно-Технической Конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2008, с.196-197

11. Исмаилов Т.Г., Асланова А.Р. Неравномерность токопрохождения по поверхности контакта Cu-nSi диодов Шоттки / Труды V Международной Научно-Технич. Конф." Актуальные проблемы физики", Баку,2008, с. 276-278
12. Aslanova Ə.R. Real metal-yarımkeçirici kontaktlarında vaxtından əvvəl elektrik dəşilməsi / BDU-nun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş gənc tədqiqatçıların «Fizika və astronomiyanın problemləri» Respublika elmi konfransinin materialları, BDU, 2009, s.39
13. Асланова А.Р., Еганех М.А. Изучение неоднородности высоты барьера диодов шоттки с атомно-силовой микроскопией / Тезисы докл. XXI Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2010, сс.209-210
14. Aslanova Ə.R., Yeganeh M.A. Şottki diodunun (Ag-nSi) potensial cəpərinin temperatur asılılığının və emissiya qeyri - bircinsliiyinin AQM ilə tədqiqi / “Fizikanın Müasir Problemləri” V Respublika Elmi Konfransının materialları, Bakı, 2011, ss.30-32
15. Aslanova Ə.R., Yeganeh M.A. Qeyri – bircins kontakt səthli Şottki diodunun potensial cəpərinin hündürlüyünün temperatur asılılığı / «Fizika və astronomiya problemləri» Respublika elmi konfransının materialları, BDU, 2011, s.30
16. Асланова А.Р., Еганех М.А. Исследование эмиссионной неоднородности диодов Шоттки АСМ методом /Тезисы докл. XXII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2012, с.325-326
17. Aslanova Ə.R., Naşımova N.N. Şottki diodlarının elektrofiziki parametrlərinə əlavə elektrik sahəsinin təsiri / “Fizikanın müasir problemləri” VIII Respublika konfransının materialları, Bakı,2014, ss. 140-141
18. Исмаилов Т.Г.,Асланова А.Р.Зависимости электрофизических параметров перехода металл - кремний от размеров контактной поверхности // Jurnal of Qafqaz University, Physics, 2014, v.2,n.2, pp.161-165
19. Асланова А.Р., Еганех М.А. Действующий потенциальный барьер неоднородного перехода металл - кремний // Вестник Бакинского Университета, серия физ.мат.наук, 2014, №4, сс.123-130
20. Aslanova Ə.R. Əlavə elektrik sahəli metal – yarımkeçirici mikro-nanokontaktların elektrik xassələri / “Fundamental və tətbiqi elmlərin aktual problemlərinin həllində mültidissiplinar yanaşmanın rolu”, Gənc

- alim və mütəxəssislərin 1-ci Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları, AMEA, Bakı, 2014. s.171-175
21. Ismailov T.H., Aslanova A.R. Influence of Peripheral Effects on the Electro Physical Properties of Schottky Diodes // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2015, v.5, n.2, pp.1-7
 22. Aslanova Ə.R., Məmmədov R.Q. Əlavə elektrik sahəli Şottki diodu əsasında nanoqurluşlu elektron açarları / Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları, Bakı, Qafqaz Universiteti, 2015, ss.79-80
 23. Aslanova Ə.R., Haşımova N.N. Düzləndirici metal-silisiyum keçidlərinin elektrofiziki xassələrinə kontakt səthinin məhdudluğunun təsiri / Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları, Bakı, Qafqaz Universiteti, 2015, ss.42-43
 24. Ismailov T.H., Aslanova A.R. Electrophysical properties of Schottky diodes with inhomogeneous contact surface // J. Superlattices and Microstructures, 2016, v.90, pp.68-76
 25. Mamedov R.K., Aslanova A.R. Additional electric field in real trench MOS barrier Schottky diode // J. Superlattices and Microstructures, 2016, v.92, pp.1-9

İstinad edilmiş ədəbiyyat

1. Мамедов Р.К. Контакты металл – полупроводник с электрическим полем пятен, Баку, БГУ, 2003, 231 с.
2. Новиков В. А. Исследование морфологии и электронных свойств поверхности пленок $A_{III}B_V$ и контактов металл/ $A_{III}B_V$ методом атомно-силовой микроскопии, Автореферат кандидатской диссертации, Томск.: ТГУ, 2010, 18 с.

A.R.Aslanova

**Features of the energy structure of the surface - barrier
metal - silicon contacts**

Summary

The results of studies using Skan prob microscopy (SPM) of formation of the energy structure of the surface-barrier metal - silicon contacts (SB MSC) with the additional electric field (AEF), formed as a result of emission inhomogeneity interfurce and of the potential difference beetvin contact surface and the free surfaces of the metal and semiconductor.

Presented two- and three-dimensional relief, the phase and the potential AFM image studies occurrence AEF due to emission heterogeneity of contact surface of the metal-silicon. Obtained important research results the forward and reverse I-V characteristics, the peripheral current, electrical breakdown relatively wide SB MSC with a diameter of 100 - 1000 mkm and depending on the nature and temperature of the metal. Designed the double-barrier structure with the corresponding energy parameters SB MSC.

Presented two- and three-dimensional relief, phase, the potential and the current image of AFM studies AEF occurrence by limiting the contact surface with the adjacent free surfaces metal and silicon. Interesting results studies the forward and reverse I-V characteristics, the peripheral current, electrical breakdown relatively narrow SB MSC with a diameter of 6 - 100 microns. Designed the single-barrier energy structure with the appropriate parameters narrow SB MSC.

Based on the experimental results obtained by scanning probe microscopy, electrophysical and constructive-technological methods were built operating single-barrier and double-barrier energy structure of the SB

metal – silicon contact with AEF, quantified their basic parameters and set the specific features of their dependency on the applied voltage

А.Р. Асланова

Особенности энергетической структуры поверхностно-барьерных переходов металл - кремний

Резюме

В работе представлены результаты исследований с применением методов Сканирующих зондовой микроскопии (СЗМ) особенности энергетической структуры поверхностно-барьерных переходов металл-кремний (ПБ ПМП) с учетом дополнительного электрического поля (ДЭП), сформированного в результате эмиссионной неоднородности границы раздела и возникновения разности потенциалов между контактной поверхностью и свободными поверхностями металла и полупроводника.

Представлены двух- и трехмерные рельефное, фазовое и потенциальное изображения АСМ исследований возникновения ДЭП за счет эмиссионной неоднородности контактной поверхности металл-кремний. Получены важные результаты исследований ВАХ в прямом и обратном направлениях, периферийного тока, электрического пробоя относительно широких ПБ ПМП с диаметрами 100 – 1000 мкм и их зависимостей от природы металла и температуры. Разработана двухбарьерная энергетическая структура с соответствующими параметрами ПБ ПМП.

Представлены двух- и трехмерные рельефное, фазовое, потенциальное и токовое изображения АСМ исследований возникновения ДЭП за счет ограничения контактной поверхности металл-кремний с к ней примыкающими свободными поверхностями. Получены интересные результаты исследований ВАХ в прямом и обратном направлениях, периферийного тока, электрического пробоя относительно узких ПБ ПМП с диаметрами 6 – 100 мкм. Разработана однобарьерная энергетическая структура с соответствующими

параметрами ПБ ПМП.

На основе экспериментальных результатов, полученных с помощью сканирующей зондовой микроскопии, электрофизическим и конструктивно-технологическим методами, были построены действующие однобарьерные и двухбарьерные энергетические структуры ПБ переходов металл – кремний с ДЭП, количественно оценены их основные параметры и установлены специфические особенности их зависимостей от приложенного напряжения.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

АМИНА РАСИМ кызы АСЛАНОВА

**ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТЬНО - БАРЬЕРНЫХ
ПЕРЕХОДОВ МЕТАЛЛ - КРЕМНИЙ**

2211.01 – Физика твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по физике

БАКУ – 2016