

Əlyazması hüququnda

ELÇİN ƏHMƏD OĞLU KƏRİMOV

**“NANOÖLÇÜLÜ STRUKTURLAR DA DAXİL OLMAQLA
İRİDİUM SİLİSİDİ – SİLİSİUM KOMPOZİTİ ƏSASINDA
İNFRAQIRMIZI DİAPAZONLU FOTOQƏBULEDİCİ
QURĞULARIN NƏZƏRİ VƏ EKSPERİMENTAL TƏDQIQI”**

**İxtisas: 3361.01 – Bərk cisim elektronikasi, radioelektron
komponentlər, mikro və nanoelektronika**

**Fizika üzrə elmlər doktoru alimlik dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın**

AVTOREFERATI

BAKI - 2016

İş Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutunun «Kosmik infrastruktur elementlərin tədqiq və modelləşdirilməsi» şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: F.-r.e.d., professor H.B. İBRAHİMOV

Rəsmi opponentlər: F.-r.e.d., professor R.M. Sərdarlı

F.-r.e.d., professor V.M. Salmanov

F.-r.e.d., professor O.B. Tağıyev

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universiteti

Müdafiə Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəznindəki D. 01.221 Dissertasiya Şurasının «_18_» _03_____ 2016 – ci il tarixli iclasında saat ____ da olacaqdır.

Ünvan: AZ 1143, Bakı şəhəri, B. Vahabzadə küçəsi, 9.

Dissertasiya ilə Radiasiya Problemləri İnstitutunun Elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «____» _____ 2016 – cı il tarixdə göndərilmişdir.

D.01.221 Dissertasiya

Şurasının elmi katibi:

k.ü.e.d. T.N. Ağayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı.

Son zamanlar metal silisidi - silisium kontaktlı Şottki diodlardan ibarət çoxelementli matris fotoqəbuledicilər geniş yayılmışdır. Belə fotoqəbuledicilər təyyarə, yaxud kosmik gəmilərdən neft, qaz, filiz, termal su yataqlarını aşkar etmək üçün, şəhər və rayonlarda isti və soyuq su borularında sizmaların yerinin müəyyənləşdirilməsində, meşə təsərfatında yanğın mənbələrinin yerlərinin aşkarlanmasında, kənd təsərfatında torpağın nəmlik dərəcəsinə məsafədən nəzarət edilməsində, ekologiyada çay və su hövzələrinin müxtəlif növ tullantılardan qorunmasında, tibbdə xərcəng və digər xəstəliklərin erkən diaqnostikasında və s. istifadə olunur.

Şottki diodu əsasında fotoqəbuledicilər digər qəbuledicilərdən ayrı-ayrı elementlərinin çox yüksək yekcins həssaslığa malik olması ilə fərqlənirlər. Digər tərəfdən işlənmiş silisium texnologiyasının köməyi ilə standart monokristallik silisiumda məntiq bloklarını, gücləndiriciləri, detektəedici elementləri və qidalandırıcı blokları da formalaşdırmaq olar. Bundan başqa yüksək həssas elementləri olan fotoqəbuledicilər eyni bir lövhədə yük əlaqəli cihaz (YƏC) qurğusu və metal – oksid - yarımkeçirici (MOY) strukturlarla birgə yaradıla bilər.

Rusiyada və digər xarici ölkələrdə yeni texnologiya əsasında işğahəssas materiallar və fotoqəbuledicilər almaq üçün çox aktiv iş aparılır. Hazırda platin silisidi - silisium kontaktı əsasında Şottki diodlardan ibarət matris fotoqəbuledicilər işlənilib hazırlanmışdır. Lakin bu fotoqəbuledicilərdə həssaslıq aşağıdır və kiçik spektral həssaslıq oblastına malikdirlər. Həmçinin informasiyanın oxunması zamanı əlavə elementlərə ehtiyac yaranır və cihazın işləmə sürəti yük əlaqəli cihazın işləmə sürətindən fərqli olur.

Beləliklə, ifrat nazik (IrSi) iridium silisid təbəqəsinin alınma texnologiyası və onun əsasında Şottki kontaktının alınması, Şottki kontaktı əsasında işğahəssas strukturun yaradılmasında onların elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqi baxılan strukturlarda fiziki proseslərin baş verməsi xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi nöqtəyi nəzərindən çox böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiya işinin məqsədi. Qalınlığı nanoölçü tərtibində olan nazik IrSi təbəqəsinin alınması, onun optik xassələrinin, IrSi - Si əsasında Şottki kontaktının elektrik və fotoelektrik xassələrinin öyrənilməsi, praktiki tətbiq cəhətdən perspektivli olan yüksək həssaslığa malik infraqırmızı

oblastda işləyən fotoqəbuledicilərin yaradılması imkanlarının araşdırılmasından ibarətdir.

Oarsiya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilməlidir:

- nanohissəciklərin yaranma sürətinə və ölçülərinə nəzarəti həyata keçirən qurğunun və metodun işlənilib hazırlanması;
- ölçüləri 100nm – dən kiçik olan işıqəhəssas elementlərin hazırlanması üçün yeni litoqrafiya üsulunun müəyyən olunması;
- kontakt materialı kimi istifadə olunan nanoboruların optik xassələrinin yük əlaqəli cihazlara təsirini müəyyənləşdirmək üçün nanoborularda optik keçidlərin enerjisinin və elektron hallarının sıxlığının nəzəri hesablanması;
- iridium silisiddə istilik elektronlarının, yaxud dəşiklərinin sərbəst qaçış yolunun uzunluğunun təyin olunması;
- metal silisidi – oksid – yarımkəçirici yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz əsasında enerjiden asılı olmayan yaddaş qurğusunda informasiyanın oxunması üsulunun müəyyən edilməsi;
- IrSi - Si Şottki kontaktı əsasında işıqəhəssas elementlərin optik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqi;
- tədqiq olunan materiallar əsasında müxtəlif tip fotoçevricilərin yaradılması və onların praktiki tətbiqi imkanlarının təyini.

Dissertasiya işinin elmi yeniliyi:

1. Nanohissəciklərin alınması üçün plazmatron qurğusu işlənilib hazırlanmışdır. Qurğuda çətinəriyən materialdan hazırlanan katod ilə intensiv soyudulan anod arasında elektrik qövsü yaradılır, qövsdən plazmayaradıcı maddələr olan işçi cisimlər buraxılır və yekunda işçi cisimlər ionlaşaraq maddənin dördüncü aqrekat halı olan plazma yaranır.

2. Müəyyən olunmuşdur ki, katalitik plazmokimyəvi çökdürmə üsulundan istifadə etməklə nanohissəciklərin yaranma sürətinə və diametrinə nəzarət etmək mümkün olar.

3. Xətti silindirik dalğalar metodu ilə hesablamalar əsasında elektron quruluşu, zonalararası optik keçidlər və metal karbon nanoboruları arasında əlaqələr ətraflı öyrənilmiş, nanoborularda optik keçidlərin enerjisi və elektron hallarının sıxlığı haqqında dəqiq nəzəri informasiyalar alınmışdır ki, bunların vasitəsi ilə də nanoboruların optik xassələrinin yük əlaqəli cihazlara təsirini müəyyənləşdirmək mümkün olmuşdur.

4. Kvant effektivliyinin artırılmasının fiziki əsasları işlənilmiş və təcrübi nəticələri izah etmək üçün sadələşdirilmiş birölçülü model təklif

olunmuş, iridium silisiddə istilik elektronların (deşiklərin) sərbəst qaçış yolunun uzunluğunun təyin olunmuş qiymətinin 450 A - ə bərabər olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

5. İridium silisid - silisium (IrSi - Si) kontaktı əsasında Şottki çəpərli sahə tranzistoru işlənilib hazırlanmış və göstərilmişdir ki, matrisalardakı fotodiodları fototranzistorlarla əvəz etdikdə, ənənəvi fotoqəbuledicilərin spektral həssaslıq oblastı genişlənir və fotohəssaslıq artır.

6. IrSi - Si fotodiodu əsasında avtonom cihaz olan cərəyan mənbəyi, maye kristallı ekran və elektron blokundan ibarət uzunluğ 8 sm, işləmə sürəti 3 - 4 saniyəyə bərabər olan rəqəmsal elektron termometri yaradılmışdır.

Dissertasiya işinin elmi – praktiki əhəmiyyəti:

- Dissertasiya işində alınmış nəticələrə əsasən IrSi - Si Şottki baryerli işıqəhəssas strukturun energetik zona diaqramını qurmaq mümkündür. Buna əsaslanaraq IrSi – dən yarımkeçiricilərə elektron yaxuddeşiklərin köçürülməsinin mexanizmini, eləcə də IrSi nazik təbəqələrin ölçülərinin Şottki diodlarının elektrik və fotoelektrik xassələrinə təzsirini müəyyənləşdirmək olar;

- İşlənilib hazırlanmış IrSi - Si kontaktı əsasında Şottki çəpərli sahə tranzistorunda matrisalardakı fotodiodları əvəz etməklə fotoqəbuledicilərin spektral həssaslıq oblastını genişləndirmək və kvant çıxışını artırmaq olar;

- IrSi - Si əsasında cərəyan mənbəyi, maye kristallı ekran və elektron blokundan ibarət olan rəqəmsal elektron termometrindən tibbdə və məişətdə geniş şəkildə istifadə oluna bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəlar:

1. Nazik təbəqələrin, nanohissəciklərin alınması üçün yeni plazmatron qurğusunun işlənilib hazırlanması;

2. IrSi nazik təbəqəsinin optik xassələrinin tədqiq olunması;

3. IrSi - Si kontaktı əsasında işıqəhəssas strukturun elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqi;

4. Yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz əsasında informasiyanın oxunmasının yeni üsulunun təklifi;

5. Ir - Si sendviç strukturu 530 - 930 K temperaturda $N_2 + H_2 + O_2$ qaz qarışığında termik emal olunması və kimyəvi reaksiya nəticəsində iridium silisid (IrSi) alınması, qalınlığın temperaturdan asılı olaraq artması və artma sürətinin parabolik qanuna tabe olması;

6. Xətti silindirik dalğalar metodu ilə hesablamalar əsasında elektron quruluşu, zonalararası optik keçidlər və metal karbon nanoborular arasında

əlaqələrin müəyyən edilməsi, nanoborularda optik keçidlərin enerjisi və elektron hallarının sıxlığı haqqında nəzəri hesablamalar, bunların vasitəsi ilə naoboruların optik xassələrinin yük əlaqəli cihazlara təsirinin müəyyənləşdirilməsi;

7. Metal silisidi – oksid - yarımkəçirici yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz əsasında enerjidən asılı olmayan yaddaş qurğusunda informasiyanın yeni oxunması üsulunda cihazın işləmə sürətinin yük əlaqəli cihazın (YƏC) işləmə sürətinə bərabər olması;

8. İridium silisid –silisium kontaktı əsasında Şottki fotodiopdlarının optik və elektrofiziki parametirlərinin eksperimental nəticələri və silisid iridiumun qalınlığının fotodiopdların foftoelektrik xassələrinə təsirinin müəyyənləşdirilməsi;

9. Dissertasiyanın eksperimental nəticələri və iridium silisidi - silisium kontaktı əsasında Şottki çəpərli sahə tranzistorunun və rəqəmsal elektron termometrinin parametirlərinin müəyyən olunması.

İşin aprobeasiyası:

Dissertasiya işinin əsas nəticələri müxtəlif beynəlxalq elmi-texniki konfranslarda Ölkə İqtisadiyyatının İnkişafında Elmi İnnovasiyanın rolu, Beynəlxalq Elmi-praktiki konfransın materialları, 24-25 Bakı, noyabr 2011, The materials of IV international distance research and training conference, Scholarly discussion: problems of mathematics physics, chemistry, biology, Moscow, 2013, Наука и образование в современном мире, Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, часть I, Москва 31 мая 2013г, Тенденции и перспективы развития современного научного знания, материалы VII международной научно - практической конференции, 29 июня 2013 г, Москва 2013 məruzə edilmişdir.

Nəşirlər.

Dissertasiyanın mövzusu üzrə 2 kitab, 35 məqalə, 3 konfrans materialı nəşr edilmişdir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi.

Dissertasiya giriş, altı fəsil, nəticələr və istifadə olunmuş ədəbiyyatdan ibarətdir. Dissertasiyada 230 səhifə mətn, 93 şəkil, 11 cədvəl, 258 adda ədəbiyyat siyahısı olmaqla, işin ümumi həcmi 275 səhifədir.

Dissertasiya işinin qısa məzmunu

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, əsas məqsəd və məsələlər müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və müdafiəyə çıxarılan əsas məsələlər şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə metal silisidləri – silisium nazik təbəqələrinin formalaşması üsullarına baxılmışdır. Yüksək keyfiyyətli və sürətli yarımkeçirici cihazların və inteqral mikrosxemlərin yaradılması onların hazırlanma texnologiyalarına yeni materialların daxil edilməsini tələb edir. Bunlardan ən perspektivliləri silisidlər – silisiumla daha elektromüsbət elementlərin birləşmələridir. Bu birləşmələr mütləq şkala üzrə təxminən metalın ərimə temperaturundan ərimə temperaturunun yarısına bərabər temperatura qədər intervalda bərk fazada gedən reaksiyalar zamanı alına bilər. Silisidlər metal xarakterli yüksək keçiriciliyə, yüksək temperatur stabilliyinə malikdirlər və bu xüsusiyyətlərinə görə da istənilən yarımkeçiricinin güclü aşqarlanmış qatından daha üstüdürlər.

Polisilisiumun qoruyucu elektrod və təbəqə müqavimətinin $20 \text{ Om}/\square$ qiymətini təmin edən birləşdirici xətlər qismində material kimi istifadə edilməsi cihazların elementlərinin minimal ölçülərini 25 mkm – yə qədər azaltmağa imkan verdi. Nazik silisid təbəqələrinin yaradılması, mikrosxem və yarımkeçirici cihazların hazırlanması və tətbiqi üçün texnoloji proseslər təklif olunmuşdur ki, bunların da sayəsində elementlərinin ölçüsü 1 mkm olan qurğuların işlənilməsinə və sənaye istehsalına imkan yarandı.

Metal silisidi – silisium (Metal Si - Si) kontaktlarının stabil və etibarlı xarakteristikaları silisidlərin omik kontaktlarda, metal – oksid – yarımkeçirici (MOY) – tranzistorların qoruyucu elektrodlarında, optik informasiyanın saxlanması üçün materiallarda, infraqırmızı (İQ) – diapazonda işləyən fotoqəbuledicilərdə v. s. geniş istifadəsini təmin etdi.

Məlumdur ki, nazik təbəqəli silisidlərin alınması əsasında duran mühüm fiziki proseslərdən asılı olaraq hal – hazırda mövcud olan üsulları üç qrupa bölmək mümkündür:

- 1) diffuzion qarışdırılma;
- 2) ion qarışdırılması;
- 3) molekulyar – şüa və kimyəvi çökdürmə.

Hal – hazırda öz sadəliyinə və universallığına, inteqral sxemlərin (İS) hazırlanması texnologiyası bazası ilə uyğunlaşmasına görə silisid təbəqələrinin diffuzion sintezi üsulu geniş yayılmışdır. Diffuzion qarışdırmadan silisium altlığa çökdürülmüş ikikomponentli metalın və ya nazik metal təbəqəsinin termoişlənməsi zamanı istifadə edilir. Silisiumun

üzərinə qalınlığı $100 - 600 \text{ \AA}$ olan nazik qat metal təbəqəsi çəkilir, bundan sonra $10 - 60$ dəq. ərzində vakuumdə $473 - 973^\circ \text{ K}$ temperaturda metal – silisium strukturu termiki qızdırılmaya məruz qalır. Bu zaman metalın silisiumla reaksiyası zamanı biricins Pt_2Si təbəqəsi formalaşır, Pt_2Si ilə silisium altlıq arasındakı keçid oblastında PtSi təbəqəsinin yaranması başlayır. Pt/Si kontaktı ardıcıl olaraq aşağıdakı fazalardan keçir:



Bu reaksiya o zamana qədər gedir ki, bütün Pt_2Si təbəqəsi Si ilə reaksiyaya girməsin və belə reaksiya nəticəsində silisium dayaqla kontaktda stabil qalan PtSi – yə çevrilməsin.

Tozlandırılmış nazik təbəqələrdə identifikasiya olunmuş fazalar bunlardır:

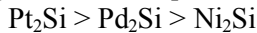
- $\alpha - \text{Pt}_2\text{Si} - \alpha = b = 3,933 \text{ \AA}$, $c = 5,91 \text{ \AA}$ sabitləri olan qəfəsin həcmi mərkəzləşmiş tetraqonal struktur;
- $\beta - \text{Pt}_2\text{Si} - \alpha = b = 6,44 \text{ \AA}$, $c = 3,573 \text{ \AA}$ sabitləri olan heksaqonal struktur;
- $\text{PtSi} - \alpha = 5,93 \text{ \AA}$, $b = 5,595 \text{ \AA}$, $c = 3,603 \text{ \AA}$ sabitləri olan ortorombik struktur.

Yüvenil səthlərdə nazik təbəqələrin böyüməsi zamanı silisid fazalarının yaranmasının ümumi qanunauyğunluqları yüksək və ifrat yüksək vakuumdə eynidir. Lakin, birinci halda silisidlərin alınması reaksiyası daha yüksək temperaturda başlayır. Soyuq altlığa tozlandırılmış nümunələrdə diffuziya az intensiv gedir və böyük olmayan təbəqəaltına (10 nm) Si və Pt aktivləşdirilir. Elə burada silisiumun platinə diffuziyasının effektiv əmsalı təyin edilmişdir: 770° K – də $D = 2,9 \cdot 10^{-15} \text{ sm}^2$; silisiumun platin silisidinə 450° K – də diffuziya əmsalı $D = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ sm}^2/\text{san}$. Yarımparçalanma periodu $2,62$ saat olan radioaktiv izotop istifadə etməklə silisiumun silisium 2 - oksidə və platin silisidə öz-özünə diffuziya əmsalı təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, silisiumun platin silisidinə yüyürüklüyü PtSi – ni saxlamaq üçün lazım olduğundan dörd tərtib kiçikdir yəni, silisidin yaranması platin ilə şərtlənir. PtSi əsasən platinin diffuziyası ilə əlaqədardır. Bu nəticə həm də $\langle 111 \rangle$ oriyentasiyalı Si səthində platin örtüyün formalaşması prosesində valent zonanın spektri və Si – $2p$ və Pt – $4f$ səviyyələrinin tədqiqinə həsr olunmuş işinin tədqiqatları ilə təsdiqlənir. Göstərilmişdir ki, $1 - 10$ monoqat qalınlıqlı örtüklərdə $p - d$ hallarının hibridləşməsi Si – Pt birləşməsi və kimyəvi sürüşmələr baş verir: Si – $2p$ səviyyəsi böyük, Pt – $4f$ səviyyəsi isə kiçik əlaqə enerjisi tərəfə. Örtüklərin qalınlığı 10 monoqat qalınlığından böyük olduqda metalla zənginləşmiş qat

formalaşır. Si – 2p zolağı qeyri – simmetrik formaya malik olmaqla valent hallarının strukturu metallarından fərqlənir. Belə nəticəyə gəlinir ki, Si və Pt arasında 40 monoqatdan ibarət örtüklərin yaranmasına kimi güclü qarşılıqlı təsir mövcuddur. Birqatlı metallaşdırma üsulunu tətbiq etdikdə PtSi – nin qalınlığının artması ilə bircinslilik azalır. Çoxqatlı metallaşdırma üsulu ilə alınmış PtSi – Si “nazik” kontaktları halında sərhədin bircinsliyi PtSi – nin qalınlığından asılı olmur. Bu üsulla kontaktların hazırlanması üçün silisium altlığı 150 A⁰ qalınlığında Pt qatı və bir neçə cüt əvəzlənən silisium (132 A⁰) və platin (100 A⁰) təbəqələri tozlandırılır.

Platin silisidinin yaranma kinetikası və PtSi – nin əmələ gəlməsinə aşqarların təsiri Oje – spektroskopiya, rentgen difraksiyası, H⁺ - ionlarının rezervford səpilməsi və skanedic elektron mikroskopiya üsulları ilə intensiv surətdə tədqiq edilmişdir. Bu zaman müəyyən edilmişdir ki, yandırma temperaturundan başqa aşqarlar silisidlərin yaranması reaksiyasını yavaşdıraraq onların bərkfazlı artmasında mühüm rol oynayırlar.

Həcmi birləşmələrin kimyəvi təbiətini başa düşmək metal – silisium fazalararasının öyrənilməsi üçün xüsusən vacibdir. Bu məqsədlə metal – silisid həcmi keçidlər üçün kimyəvi əlaqələrin təbiəti və yük paylanmaları tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar göstərir ki, metalla silisium arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsi aşağıdakı ardıcılıqla artır:



PtSi təbəqələrinin platini həll edən reaktivlərə kimyəvi dayanıqlığını artırmaq üçün ikinci oksidləşmə metodu təklif edilən və eləcə də təbəqələrin keyfiyyətinə səthin və yandırılma aparılan ($T_{\text{yan.}} = 400 - 500^0$ C) atmosferin əvvəlcədən təmizlənməsinin təsiri öyrənilən tədqiqatların nəticələri PtSi – nin kimyəvi dayanıqlılıq nöqtəyi – nəzərindən mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyini nəzərə çatdırır. Nəzərat edilən şəraitlərdə - kinetikanın və fazanın sonrakı artımının çökdürülmə zamanı altlığın temperaturundan asılılığı müəyyən olunan şəraitlərdə Pt – Si sistemi nazik təbəqələrinin formalaşması prosesi tədqiq edilmişdir. Lakin müəyyən olunmuşdur ki, platin təbəqədə oksigenin olması reaksiyanın sürətini və fazanın artmasını əsasən də PtSi və Pt₂Si – nin diffuzion yaranma prosesini təyin edir və fazaların ardıcılığını dəyişir.

PtSi – p – Si və PdSi – p – Si kontaktları əsasında ilk fotodiodlar (FD) nisbətən qalın (600 A⁰) metal qatına və Fauler bərabərliyi ilə ifadə olunan kiçik kvant effektivliyinə malik idilər:

$$Y = \frac{C_1 (h\nu - \Psi_{ms})^2}{h\nu}$$

burada

$$C_1 = \frac{AG}{8\Psi_{ms}} = \frac{ASl}{d}$$

burada, A – silisiddə udulan İQ – şüalanma gücünün düşən gücə nisbəti ilə təyin olunan udulma əmsalı; G – Şottki çəpərindən isti dəşiklərin emissiyasını xarakterizə edən əmsal; l – silisidin səthinə normal üzrə dəşiklərin sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu; S – hər bir hv - üçün sabit; d – silisidin qalınlığıdır.

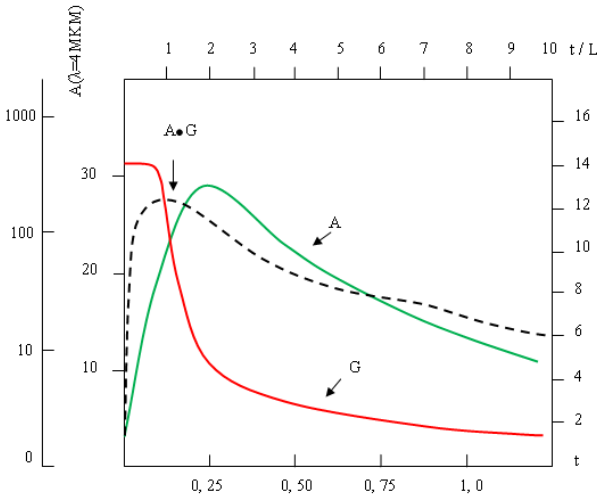
Nazik qat silisidlə ŞÇFD yaradılması C_1 - əmsalının artmasına və deməli onların kvant effektivliyinin artmasına gətirir. Bu strukturda metal təbəqəsi PtSi təbəqəsindən 2000 – 10000 Å⁰ qalınlıqlı dielektrik qatı ilə ayrılmışdır. İQ – işıq silisium altlıqdan keçərək fotodiodun arxa hissəsində fokuslanır. Alüminium təbəqəsi bu strukturda güzgü rolunu oynayır və silisid təbəqədən İQ – şüalanmanın dəfələrlə keçməsi hesabına silisiddə optik udulmanı artırmaq üçün nəzərdə tutulub. Göstərilən dielektrik təbəqə silisid – dielektrik ayırma sərhədindən əks olunan dəşiklərin hesabına isti dəşiklərin silisium altlığa emissiyasını sürətləndirməyə və deməli G – kvant effektivliyinin güclənməsi əmsalının artırılmasına şərait yaradır.

PtSi əsasında ŞÇFD – nin ən optimal konstruksiyasını illustrasiya etmək üçün şəkil 1 – də A – udulma asılılığı, G – dəşiklərin emissiyasının güclənmə əmsalı və onların $\lambda = 4$ mkm olduqda silisid təbəqənin qalınlığına görə A·G hasili göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, PtSi qalın təbəqələri üçün əmsalın qiyməti 5% - ə yaxınlaşır. Optik udulmanın maksimumu silisid təbəqənin qalınlığının udulma əmsalının tərs 1/4 qiymətinə bərabər olduğu zaman müşahidə olunur. G – kvant effektivliyinin güclənmə əmsalının hesablanmış qiyməti iki eksperimental nöqtə ilə müqayisə edilir. Şəkildəki A·G asılılığından görüldüyü kimi PtSi təbəqəsinin ən optimal qalınlığı təxminən 1/8 udulma uzunluğuna bərabərdir.

Nazik və qalın PtSi təbəqəli ŞÇFD üçün kvant effektivliyinin qiymətlərini müqayisə edək. Çəpərin hündürlüyünü $\varphi_c = 0,22$ eV götürək. Nazik PtSi təbəqəli fotodiod üçün A·G = 200. Deməli, kvant effektivliyi 32 dəfə artır. 3,46 vuruğu 32 kəmiyyətində PtSi təbəqəsinin qalınlığının azalması nəticəsində A udulma əmsalının artması, 9,25 vuruğu isə G əmsalı

yəni, silisiyuma dəşiklərin emissiyasının silisid – dielektrik ayırma sərhədindən qayıtmaların hesabına artması ilə şərtlənir.

Yuxarıda göstərilir ki, dalğa uzunluqlarının işlək diapazonunda ŞÇFD – nin kvant effektivliyini artırmaq Şottki çəpərinin hündürlüyü ilə təyin olunan fotonəşəslığın uzundalğalı sərhədini artırmaq yolu ilə mümkündür. Çəpərin hündürlüyünün azalmasına və fotodaşıyıcıların ondan tunel keçidinə metal – yarımkeçirici təbəqələrarası sərhədin yaxınlığında silisiumun nazik qat ionlarla əlavə aşqarlanması təsir göstərir. Aşqarlayan qat altlığın materialının keçiriciliyi kimi keçiriciliyə malik olmalı və aşqarlayan ionların konsentrasiyası çəpərin hündürlüyünün nəzərəcarpacaq dərəcədə azalmasını təmin etməlidir.



Şəkil 1. PtSi əsasında Şottki çəpərli fotodiodlar üçün hesablanmış və ölçülmüş A – udulma intensivliyi, G – dəşiklərin emissiyasının güclənmə əmsalı və $A \cdot G$ hasilinin silisidin qalınlığından asılılıqları.

İkinci fəsildə nanohissəciklərin və fotoqəbuledici elementlərin alınma texnologiyası işlənmişdir. Nanohissəciklər kəşf olunandan sonra alimlər əvvəlcədən verilmiş xassələrə malik müxtəlif növ nanohissəciklərin və nanoboruların alınması üsullarını axtarmağa başladılar. Bunun üçün nanotexnologiyada üç əsas üsuldən istifadə olunur:

1) Qövs boşalmasında termiki emal üsulu;

2) Katalizatorlardan istifadə etməklə kimyəvi üsulla qaz fazasından çökdürmək üsulu;

3) Lazerlə buxarlandırma üsulu.

Qövs boşalmasında həm istənilən nanohissəciklər, həm də qrafitin termik üsulla tərkib hissələrə ayrılması üsulu ilə füllerenlər, həm də nanoborular alınır. Qrafiti tozlandırmaq üçün elektrodan keçən cərəyan şiddəti 100÷200 A, cərəyanın tezliyi 60 Hs, gərginlik isə 10÷20 V olur. Yay təmizləməklə elə etmək olar ki, əsas güc qrafit (yaxud metal) elektrodlarda yox, məhz qövsdə ayrılınsın. Kamera 100 torriçelli (Tor) təzyiqə malik heliumla doldurulur.

Qurğuda qrafitin buxarlanma sürətini 10 q/V – a çatdırmaq olar. Bu zaman su ilə soyudulan mis örtüyün səthi qrafitin buxarlanma məhsulu, yəni hislə örtülür. Əgər alınan poroşoku qazıyıb götürsək və qaynayan toluolda bir neçə saat saxlasaq tünd bura rəngli maye alırıq. Onu fırlanan buxarlandırıcı cihazla buxarlandırsaq xırda dispersiyalı poroşok alınır ki, onun da çəkisi ümumi hisin çəkisinin 10% - ni təşkil edir. Bu üsulla alınan xırda dispersiyalı poroşokda 105 - ə qədər fülleren və nanoboru olur.

Birlaylı nanoboru almaq üçün anoda az miqdarda Fe, Co, Ni, Cd (yəni katalizator əlavə etməklə) qarışığı əlavə etmək lazımdır. Bundan başqa birlaylı nanoboru çoxlaylı nanoborunun oksidləşməsi nəticəsində də alınır. Çoxlaylı nanoborunu oksidləşdirmək üçün onu oksigenlə, yaxud qaynar azot turşusu ilə emal edirlər. Qaynar azot turşusunda emal edilən zaman borunun sonunun açılmasına gətirib çıxaran beş həddli qrafit halqa kənarlaşdırılır. Oksidləşmə çoxlaylı borunun yuxarı layını götürməyə və onun sonunu açmağa imkan verir. Nanohissəciyin reaksiya qabiliyyəti, nanoboruya nisbətən yüksək olduğu üçün karbon məhsulunun kifayət qədər dağılması zamanı nanoborunun miqdarı artır.

Qurğunun konstruksiyasını və prosesin parametrlərini dəyişməklə effekliyi və məhsulun tərkibini dəyişmək olar. Müxtəlif modifikasiyalarda nanoborular 20÷80% olur. Birlaylı kifayət qədər qısa nanoborularda çoxlu defektlər mövcuddur.

Qaz fazasından plazmakimyəvi çökdürmə üsulunda qazşəkilli karbon mənbələri (metan, asetilen yaxud karbon monooksid) hər hansı yüksək enerji mənbələrinin (plazma yaxud rezistiv qızdırıcı sarğı) təsirinə məruz qalır və molekulu karbon atomuna parçalayır. Parçalanmış karbon atomları katalizatorlarla (Fe, Co, Ni və s.) örtülmüş isti altlığa çökdürülür. Nanoborular yalnız ciddi əməl olunmuş parametrlərdə yarana bilər. Katalitik plazmakimyəvi çökdürmə üsulundan istifadə etməklə

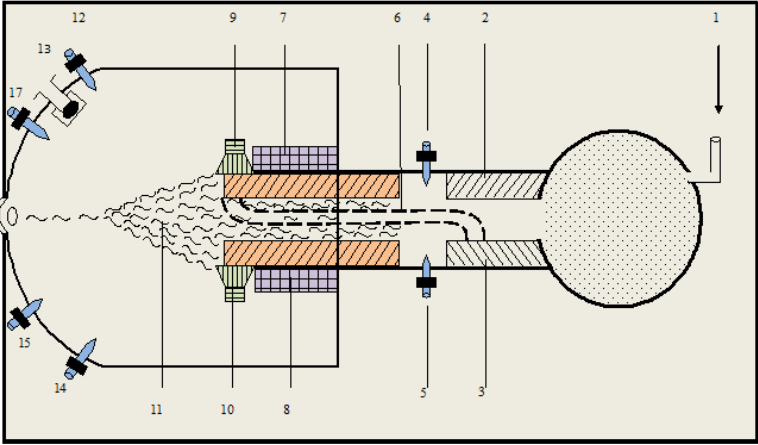
nanoborunun diametrinə və yaranma sürətinə nəzarət etmək olar. Katalizator hissəciyinin diametrindən asılı olaraq bir və ya çoxsaylı nanoboru alın bilər. Praktikada bu üsuldən atom - güc mikroskopu zondunun hazırlanmasında istifadə olunur. Katalizatorun vəziyyətini müəyyən etməklə kantilevrin silisium ucluğunda nanoboru yetişdirilir ki, bu da mikroskopun ayırdetmə qabiliyyətini və təkrarlama xarakteristikasını yaxşılaşdırır. Bu xarakteristikalar həm skanetmə, həm də litoqrafiya əməliyyatı zamanı da yaxşılaşır. Adətən nanoborunun bu üsulla sintezi iki mərhələdə gedir: katalizatorun hazırlanması və nanoborunun artımı. Katalizatoru çəkmək üçün altlığın üzərinə keçid metallarını tozlandırır; sonra isə kimyəvi aşındırmadan istifadə etməklə metalı lazım olmayan yerdən kənarlaşdırırlar. Nanoborunun sintezində temperatur $600 \div 900^{\circ} \text{C}$ arasında variasiya olunur. Yararlılıq təqribən 30% təşkil edir. Son 10 ildə plazmakimyəvi çökdürməyə əsaslanan müxtəlif üsullar işlənib hazırlanmışdır. Bunlardan ən sürətli karbohidrogenin katalitik piroliz üsuludur. Katalizator olaraq adətən dəmirin müxtəlif birləşmələrindən (dəmir xlorid, dəmir salisilat yaxud dəmir pentakarbonil) – reduksiyaedici mühitdə əmələ gələn dəmir istifadə olunur. Dəmir duzunun karbohidrogenlə (benzol) qarışığı reaksiya kamerasında arqonun istiqamətlənmiş seli ilə və yaxud ultrasəs tozlandırıcısından istifadə etməklə tozlandırılır.

Alınmış aerosol arqon seli ilə kvarts reaktora daxil olur. Sobada aerosol seli $\sim 250^{\circ} \text{C}$ -yə qədər qızdırılır, bu zaman karbohidrogen və tərkibində metal olan duz parçalanır. Sonra aerosol temperaturu 900°C olan piroliz sobasına düşür. Bu temperaturda katalizatorun mikro və nanoölçülü hissəcikləri, karbohidrogenin pirolizi, metal hissəciklərində və reaktorun divarlarında müxtəlif karbon quruluşları o cümlədən nanoboru yaranır. Sonra qaz axını hərəkət edərək soyuma zonasına daxil olur. Piroliz məhsulu piroliz zonasının sonundakı su ilə soyudulan mis sterjen üzərinə çökür. Qeyd edək ki, bu plazmakimyəvi çökdürmənin (PKÇ) katalitik üsuludur. Digər PKÇ üsulları aşağıdakılardır:

- termik PKÇ,
- spirt tərkibli PKÇ,
- lazer induksiya PKÇ,
- plazma induksiya PKÇ,
- buxar fazasında yaranan PKÇ.

Müasir zamanda nanohissəciklərin alınması üçün bizim ölkəmizdə, eləcə də müstəqil dövlətlər birliyinin digər ölkələrində çox

böyük texnoloji problemlər mövcuddur. Belə ki, bu dövlətlərin heç birində nanohissəciklər almaq üçün bir dənə də olsun sənaye qurğusu yoxdur. İnkişaf etmiş ölkələrdən belə qurğunun alınması üçün isə çox böyük xərc tələb edir. Məlumdur ki, laboratoriya şəraitində nanohissəciklər əsasən maddələrin lazerlə buxarlandırılması, qövs boşalmasında termiki və katalizatorlardan istifadə etməklə kimyəvi üsullarla alınır. Bu üsulların çatışmayan cəhəti onların mürəkkəb texniki qurğulara malik olması, periodikliyi və kiçik iş resursuna malik olmasıdır.



Şək.2. Metal nanohissəciklərin və nanoboruların alınması qurğusu.

Tərəfimizdən təklif olunan plazma qurğusu plazma reaktorundan və kimyəvi reaksiya məhsullarını stabiləşdirən kameradan ibarətdir (şəkil 2).

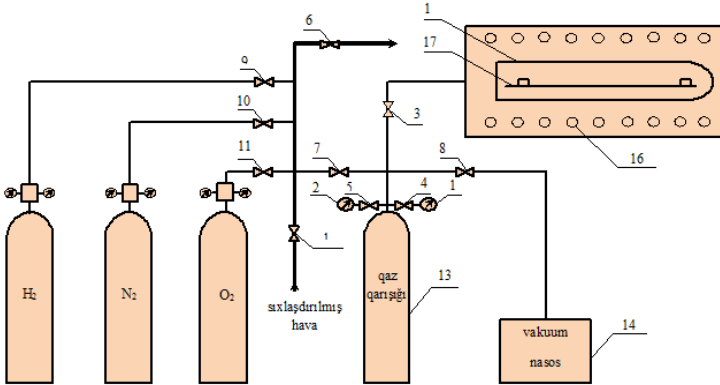
Reaktor işçi maddələrin daxil olması üçün 1,4 klapanları, kimyəvi reagentlərin verilməsi üçün 12, 14 girişləri, soyuq qaz qarışıqlarının 13, 15 girişləri və təzyiqli tənzimləmək üçün 5 ventili ilə təchiz olunmuşdur. İkiqat elektrodlarla (2, 3, 7, 8) təmin olunmuş qurğu imkan verir ki, reaktor həm dəyişən, həm də sabit cərəyanla işləsin. 9 və 10 elektromaqnit sarğaclarıdır ki, onlar vasitəsi ilə plazma selini (11) stabiləşdirmək olur. Qurğunun ən üstün cəhəti onun laval ucluğu (16) ilə təmin olunmasıdır. Laval ucluğu ondan keçən qaz qarışığı selinin çox böyük sürətlə çıxmasını təmin edir. Axının sürəti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$v_1 = \sqrt{\frac{TR}{M} \frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}$$

burada, v_1 – qazın ucluqdan çıxma sürəti; k – adiabat əmsalı ($k = c_p / c_v$); p_1 – qazın ucluğun çıxışındakı, p - isə ucluğun girişindəki təzyiqdır. Qeyd edək ki, laval ucluğu həm də anodun aşınmasının qarşısını alır.

Reaktorda aşağı temperaturlu plazmada elektronların və ionların enerjisi plazmayaradan qazların hissəciklərinin effektiv ionlaşma enerjisindən kiçikdir. Aydınır ki, belə şəraitdə kimyəvi reaksiyanın sürəti daha böyük olur, bu isə plazma qurğusunun ölçülərini kiçiltməyə imkan verir. Qaz fazasından plazmokimyəvi çökdürmə üsulunda qazşəkilli karbon mənələri (metan, asetilen yaxud karbon monooksid) hər hansı yüksək enerji mənələrinin təsirinə məruz qalır və molekulu atomlara parçalayır. Parçalanmış atomlar katalizatorlarla örtülmüş isti altlığa çökdürülür.

IrSi – Si nazik təbəqələrinin alınması qurğusu reaksiya kamerasından və qaz magistralından ibarətdir (şək. 3). Reaksiya kamerası əsasən 15 - kvars borudan, 16 – qızdırıcıdan və silisium lövhələr üçün 17 – kasetdən ibarətdir. Silisium lövhələrin termiki emalı zamanı eyni vaxtda birdəfəlik kvars ampulalar istifadə edilmişdir. Termik emalı həyata keçirmək üçün ampulalar iki saat müddətində 1200^0 C temperaturda vakuumda təmizlənmişlər. Bundan sonra ampulaya silisium lövhələrlə birlikdə iridium yerləşdirilir və ampulanın havası 10^{-4} mm.c.s. qalıq təzyiqə qədər sovrulur.



Şək. 3. IrSi nazik təbəqələrin alınması qurğusu.

İşlək kamerada temperatur $200 - 700^{\circ} \text{C}$ diapazonda $\pm 2^{\circ} \text{C}$ dəqiqliklə termotənzimləmənin avtomatik sistemləri vasitəsi ilə saxlanılır. Qaz qarışığı reaksiya kamerasına qaz magistralından verilir. Qurğuda sıxılmış hidrogen, azot və oksigen olan reduktor və manometrlə təchiz olunmuş balonlar, 3 – 12 ventillər, 13 – nümunəvi qaz qarışığı üçün balon, uyğun olaraq yüksək və alçaq təzyiqləri ölçmək üçün nümunəvi 1 – və 2 – manometrləri, 14 – vakuum nasosu vardır. Qurğuda nümunəvi qaz qarışığını almaq üçün aşağıdakı iş rejimi nəzərdə tutulur: Bütün o cümlədən, balonların da təchiz olunduğu ventillər bağlanılır. 6,7 və 13 – balonunun ventilləri açılır. Bu zaman 13 – balonunda olan qaz qarışığı qalığı atmosfərə buraxılır. Sonra 6,7 ventilləri bağlanır 8 – ventili işə açılır və 14 – vakuum nasosu işə salınır. 13 – balonu vakuumlaşdırılır. Bundan sonra 8 – ventili bağlanır və vakuum nasos söndürülür. Əvvəlcədən komponentlərin verilmiş konsentrasiyalarına görə 13 – balonunda hər bir komponent və bütün qarışıq üçün yaradılması lazım olan təzyiq hesablanır. Sonra 7 – ventili, uyğun olaraq azot və oksigen olan balonların 10 - və ya 11 – ventilləri açılır. Azot və oksigen balonlarının reduktorunun köməyi ilə çıxış manometrinə əsasən təzyiq alınır. Sonra 13 – balonunun ventili açılır və balona azot və ya hidrogen daxil olur. Kiçik zaman müddəti ərzində 5 – ventili periodik açıb – bağlayaraq 2 – manometrinin göstəricilərinə nəzarət edilir. Bu manometrin göstəriciləri müəyyən bir qiymətə çatdıqda 13 – balonunun ventili bağlanır. Daha sonra 10 – və ya 11 – ventilləri bağlanır. Sonra 9 – və 5 – ventilləri açılır. Balonun reduktorunun köməyi ilə təyin olunan komponentin təzyiqi hesablanma nəticəsində alınan qiymətdən yuxarı səviyyədə qərarlaşdırılır. 13 – balonunun ventili açılır və 2 – manometrinin göstəricilərini müşahidə etməklə balon təyin olunan komponentin təzyiqinin hesablanmış qiymətinə qədər doldurulur. Təyin olunan komponentin təzyiqinin hesablanmış qiyməti alındıqda hidrogen və azot olan balonların reduktorları və uyğun olaraq 9 – və ya 12 - bağlanır. Hidrogen və ya azot balonlarının reduktorlarının köməyi ilə onların çıxış manometrlərinə görə hesablanmış maksimal təzyiqdən böyük təzyiq alınır. 9 – və ya 10 – və 4 – ventilləri açılır. Sonra 16 – balonunun ventili açılır və 1 – manometrinin göstəricilərini müşahidə etməklə 13 – balonu təzyiqin hesablanmış qiymətinə qədər doldurulur. Bundan sonra 13 – balonunun ventili, hidrogen və ya azot balonlarının reduktoru və 9 – və 10 – ventilləri bağlanır. Hazırlanmış nümunəvi qaz qarışığı diffuziya proseslərinin başa çatması üçün 1 – 2 saat müddətində saxlanılır.

Üç və dörd komponentli qaz qarışığı alarkən analoji proseslər həyata keçirilir. 4 – balonunu əvvəlcədən vakuumlaşdırıldıqdan sonra bu balona növbə ilə 4 – balonundakı təzyiq qədər 1 – və 2 – balonlarından qaz buraxılır ki, bu təzyiqin qiyməti aşağıdakı mövqelər əsasında təyin olunur. 4 – balonu analiz olunan qaz ilə p_1 – təzyiqinə qədər doldurulduqdan sonra aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$p_1 V = Z_1 N_1 R_0 T$$

4 – balonuna qaz buraxıldıqda sonra buradakı təzyiq $p_{qar.}$ olacaq onda,

$$p_{qar.} V = Z_{qar.} N_{qar.} R_0 T$$

burada, V – 4 balonunun həcmi, N_1 və $N_{qar.}$ – 4 balonunda uyğun olaraq analiz olunan qazın və qaz qarışığındakı molların sayı, Z_1 və $Z_{qar.}$ – uyğun olaraq analiz olunan qazın və qaz qarışığının sıxılma əmsalı, R_0 – universal qaz sabiri, balonda olan qazların mütləq temperaturudur. Buradan:

$$\frac{p_1}{p_{qar.}} = \frac{Z_1}{Z_{qar.}}, \quad \frac{p_1}{p_{qar.}} \left(\frac{Z_1}{Z_{qar.}} \right) \cdot r$$

alırıq. burada, $r = N_1 / N_{qar.}$ – qaz qarışığında analiz olunan qazın molyar payıdır. Əgər 1 – balonunda analiz olunan qazın komponentinin həcmi konsentrasiyası $X_{baş.}$ – olsa, bu komponentin qaz qarışığında konsentrasiyası

$$X = r X_{baş.}$$

olacaq. Deməli:

$$X = \left(\frac{Z_{qar.}}{Z_1} \right) \left(\frac{p_1}{p_{qar.}} \right) X_{baş.}$$

Əgər 1 – balonunda qaz analiz olunan yalnız bir komponentdən ibarətdirsə deməli, onun qaz qarışığındakı konsentrasiyası

$$X = \left(\frac{Z_{qar.}}{Z_1} \right) \left(\frac{p_1}{p_{qar.}} \right) \cdot 100$$

olacaq.

Yuxarıdakı ifadələrdən istifadə edərək əvvəlcədən p_1 – təzyiqinə qədər analiz olunan qaz ilə doldurulmuş 4 – balonunda verilmiş “X” – konsentrasiyasını almaq üçün lazım olan $p_{qar.}$ – təzyiqi təyin edilir.

Bəzi qazlar üçün sıxılma əmsalı müxtəlif ədəbiyyatda

$$Z = f(p, T)$$

qrafiki şəkildə verilir. Əgər konkret bir qaz üçün belə qrafik yoxdursa, bütün qazlar üçün aşağıdakı qrafikdən yararlanmağa imkan verən uyğun hallar qanunundan istifadə etmək olar:

$$Z = f(\pi, \tau); \pi = p/p_{kr.}$$

$$T = T / T_{kr.}$$

burada, π və τ - Z təyin olunan p və T - təzyiq və temperaturun qiymətlərinə uyğun gətirilmiş təzyiq və temperatur, $p_{kr.}$ və $T_{kr.}$ - qazın kritik təzyiq və temperaturudur. Əgər qaz çoxkomponentlidirə onda belə qaz üçün:

$$\pi = p/p_{nk}, \tau = T / T_{nk}, p_{nk} = \sum_{i=1}^n X_i p_{ikp},$$

$$T_{nk} = \sum_{i=1}^n X_i T_{ikp}$$

burada, p_{nk} və T_{nk} - çoxkomponentli qazın uyğun olaraq psevdokritik təzyiq və temperaturu, X_i - qaz qarışığında komponentlərin molyar və ya həcmi payları, p_{ikp} və T_{ikp} - isə qarışığın i - inci komponentinin uyğun olaraq kritik təzyiq və temperaturudur. Yuxarıda göstəriləndən əlavə çoxkomponentli qazlar üçün $Z_{qar.}$ - 1 təyin etmək üçün təcrübi nəticələrlə yaxşı uzlaşan aşağıdakı ifadədən istifadə etmək olar:

$$Z_{qar.} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Z_i}{100}$$

burada, Z_i - qaz qarışığının ümumi təzyiq və temperaturunda i - inci komponentin sıxılma əmsəlidir.

Müasir skanedici zond mikroskopları nanotexnologiyanın əsas alətidir. Əhəmiyyətli dərəcədə mükəmməlləşdirmə nəticəsində mikroskoplar tədqiq olunan obyektin nəinki topologiyasını (həndəsi xarakteristikalar), eləcə də digər göstəricilərini də nanometrlik fəza ayırdetməsi ilə (maqnit və elektrik xassələri, bərklik, səthin tərkibinin birincisliyi və s.) öyrənməyə imkan verir. Müxtəlif parametrlərin təyin edilməsindən əlavə müasir skanedici zond mikroskopları nanoobyektlərlə manipulyasiya etməyə imkan verir, ayrı - ayrı atomları tutmağa və onları yeni mövqələrə daşınmasını təmin edir, müxtəlif əşyaların səthlərinə yeni keyfiyyətlər verməklə bir atom enində keçiricilərin atom yığılmasını həyata keçirir. Bu tələb olunan nanostrukturaların atom - atom konstruksiya

edilməsinə və yığılan obyektə lazımı atomların addım – addım əlavə edilməsinə imkan verir. Bu prosesə daha ətraflı nəzər yetirək. Tutaq ki, materialın səthində altlığın atomları ilə bu və ya digər əlaqələrdə olan və müəyyən mövqedə saxlanılan adsorbsiya olunmuş atom vardır. Skanetmə prosesində dəyişilməz tunel cərəyanı rejimində zond bu adsorbsiya olunmuş atoma yaxınlaşır, onun trayektoriyası təhrif olunur və bu da səthin topologiyası haqqında informasiyanı verir. Bu zaman zondun ucluğu ilə adsorbsiya olunmuş atom arasındakı məsafə elə olur ki, onlar arasındakı istənilən qüvvələr atomu səthlə bağlayan qüvvələrlə müqayisədə kiçik olduğundan adsorbsiya olunmuş atom onun üzərindən ucluq keçən zaman yerində qalır. Əgər zondun ucluğu adsorbsiya olunmuş atoma elə yaxınlaşar ki, onlar arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi atomu səthlə bağlayan qüvvədən böyük olar, onda zond atomu arxasınca çəkib apara bilər. Tutulmuş atomu səthin istənilən nöqtəsində zondla altlıq arasındakı məsafəni artırmaqla yerləşdirmək mümkün olar. Zonda tətbiq olunan gərginliyi dəyişməklə atomun tutulma və buraxılma proseslərini daha etibarlı etmək mümkündür. Bu üsulla səthdə adsorbsiya olunmuş atomları qruplaşdırmaq və səthdə müxtəlif nanostrukturular qurmaq olar. GTM – in iynəsinin köməyi ilə atomlarla manipulyasiya etməyin iki əsas üsulu – şaquli və üfüqi üsulları mövcuddur. Şaquli manipulyasiya zamanı lazımı atomu tutduqdan sonra zonda bir neçə anqstrem qaldırmaqla səthdən ayırmaq olur. Atomun səthdən qoparılması prosesinə cərəyan sıçrayışlarına görə nəzarət edilir. Aydınadır ki, üfüqi manipulyasiya zamanı atomun səth üzrə sadə diyirləndirməsindən fərqli olaraq atomun səthdən qoparılması və yerdəyişməsi daha böyük səy tələb edir. Lakin şaquli yerdəyişmə prosesi səthdə qarşıya çıxan maneələrdən (pillələr, çuxurlar, adsorbsiya olunmuş atomlar və s.) asılı olmur.

Üçüncü fəsilə IrSi – Si kontaktı əsasında Şottki çəpərli strukturların alınma texnologiyasına baxılmışdır. Bu işdə altlıq qismində standart kimyəvi aşındırmaya məruz qalmış, $1,5 \cdot 10^{15} \div 7 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ konsentrasiyalı uyğun olaraq bor və fosforla aşqarlanmış <100> və <111> oriyentasiyalı n və p – tip silisium lövhələrindən istifadə edilmişdir. Aşındırmadan sonra lövhələr HF + H₂O (1:10) məhlulunda və deionlaşdırılmış suda 10 ÷ 12 san. müddətində yuyulmuş sonradan isə 0,35 ÷ 0,60 mkm qalınlıqlı SiO₂ təbəqəsinin alınması üçün termik oksidləşmə tsikli keçmişlər. 0,5 mkm qalınlıqlı oksid təbəqə T = 1000⁰ C temperaturda 2 saat müddətində su buxarları atmosferində yetişdirilmişdir. SiO₂ strukturunun sıxlaşması üçün

reaktora su buxarlarının verilməsindən əvvəl və oksidləşmədən sonra lövhələr 10 dəq. müddətində quru O_2 atmosferində saxlanılmışdır. Birinci fotolitoqrafiya zamanı bufer aşındırıcısında sonradan SiO_2 təbəqəsinin aşındırılması ilə n^+ - oblastların yaradılması üçün pəncərələr açılır. “Karo” qarışığında fotorezistin çıxarılmasından və kimyəvi emaldan sonra fosforun silisiuma termik yeridilməsi nəticəsində n^+ - oblastlar formalaşır. Yeridilmə temperaturu 15 dəq. müddətində 950^0 C olmaqla aşqarlama qarışığının mənbəyi $POCl_3$ – dür. Bu rejimlərdə n – oblastların aşağıdakı parametrləri alınmışdır: $\langle 100 \rangle$ oriyentasiyalı kontrol KDB – 10 lövhəsində dərinlik $x_j = 0,5 \pm 0,02$ mkm, səthi müqavimət isə $\rho_s = 8 \div 12$ Om / \square .

$10^{-6} \pm 10^{-5}$ sm² sahəli pəncərələr oksid təbəqədə fotolitoqrafiya üsulu ilə açılmışdır. Təmizlənmiş silisium altlığın üzərinə $5 \cdot 10^{-6}$ mm.c.s. təzyiqində vakuum buxarlanması ilə (həm də maqnetron buxarlanma metodu da istifadə olunur) 100 – 400 A⁰ qalınlıqlı iridium təbəqəsi çəkilir. Bu yolla alınmış Ir – Si strukturu sonradan $N_2 + H_2 + O_2$ qaz qarışığında və vakuumda kvarts ampulada 10 – 60 dəq. ərzində 530 – 930 K temperatur intervalında termik qızdırılma məruz qalır.

Maqnetron tozlandırma prosesi “Oratoriya - 5” qurğusunda həyata keçirilir. Plazma almaq üçün işlək qaz qismində arqon götürülmüşdür. Tozlandırıcı kamerada vakuum $10^{-4} \div 10^{-5}$ mm.c.s. təşkil edir.

Ir təbəqəsi aşağıdakı rejimdə çəkilmişdir:

- hədəfə verilən gərginlik $U = 470$ V;
- anod cərəyanı $J = 0,35$ A;
- tozlandırma müddəti $\tau = 50 - 250$ san.

Ir metallik təbəqəsinin çəkilməsindən sonra 10 dəq. müddətində 510^0 C temperaturda vakuumda və 10 – 60 dəq. müddətində elə həmin temperaturda $N_2 + H_2$ qaz qarışığında termik işləmə həyata keçirilir.

Diffuziya – sərhəd təbəqəsi kimi Ti və W metalların ərintisindən istifadə edilmişdir. Hədəf BTİ – 00 markalı titandan hazırlanmışdır. Peroksid – ammiak qarışığı məhlulunda 10 dəq. müddətində təbəqə - təbəqə təmizləmədən və deionizə olunmuş suda 15 dəq. müddətində yuyulduqda sonra silisium lövhələr “Oratoriya - 5” qurğusunun vakuum kamerasına daxil edilir. Lövhə - altlıqların ilk qızdırılma temperaturu 200 – 250^0 C, qızdırılma müddəti isə 2 – 3 dəqiqədir.

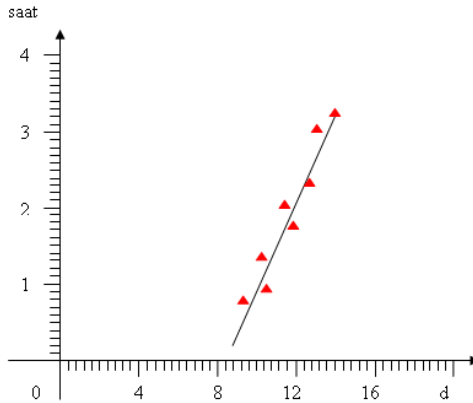
Təbəqə aşağıdakı rejimdə çəkilmişdir:

- hədəfə verilən gərginlik $U = 350$ V;
- anod cərəyanı $J = 3$ A;
- tozlandırma müddəti $\tau = 220 - 320$ san.

Metal təbəqə çəkildikdən sonra TiW ərintisinin daha yaxşı bircinsliliyinə nail olmaq üçün lövhələrin işlək kamerada 500° C temperaturda 10 dəq. müddətində termik emalı aparılır. Omik kontaktların formalaşması üçün alüminium istifadə edilmişdir ki, o da aşağıdakı rejimdə çəkilmişdir:

- hədəfə verilən gərginlik $U = 510$ V;
- anod cərəyanı $J = 11$ A;
- tozlandırma müddəti $\tau = 500$ san.

İridium silisidin formalaşmasının qanunauyğunluqlarını öyrənmək üçün IrSi təbəqəsinin qalınlığının termik emal zamanından asılılığı təyin edilmişdir (şək. 4).



Şək. 4. Təbəqənin qalınlığının termik emal zamanından asılılığı.

IrSi təbəqəsinin qalınlığı optik metodla Linnik – 4 mikrointerferometrində ölçülmüşdür. Alınmış təbəqələrin İUS – 3M qurğusunda dördzondlu metodla ölçülən və nəzarət edilə bilən parametrləri səthi müqavimət parametridir. Müəyyən edilmişdir ki, iridium silisid təbəqəsinin yaranması sürəti parabolik qanuna tabe olur.

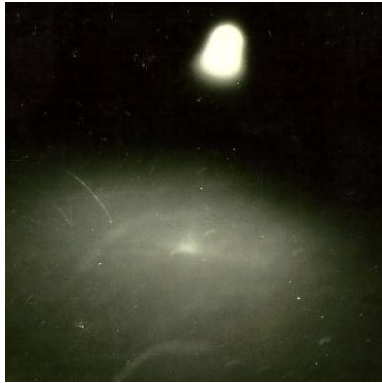
Bu nümunələrin strukturları EQ – 100 A elektronografında “əksolunmaya” metodu ilə tədqiq edilmişlər. Şəkil 5 – də IrSi – n – Si strukturunun səthinin elektronogramması göstərilmişdir. Debay halqalarının ölçülməsindən alınan müstəvilər arası d_{hkl} - məsafələri $C2 / 2$ tipli silisium iki oksidin monoklin strukturu ilə yaxşı uyğunlaşır ki, onun da

qəfəsinin parametrləri aşağıdakılardır: $a = 7,2 \text{ \AA}$, $b = 12,64 \text{ \AA}$, $c = 7,2 \text{ \AA}$, $\beta = 120^\circ$.

IrSi – Si kontaktı əsasında Şottki çəpərli diodlar spektrin İQ – oblastında şüalanmanı qeyd etmək üçün detektorlar qismində istifadə edilə bilər. Lakin, belə qəbuledicilərin kvant effektivliyi darzonalı və p – n keçidli yarımkəçiricilər əsasında fotoqəbuledicilərlə müqayisədə çox kiçikdir. Kvant effektivliyini artırmaq üçün Şottki – qəbuledicilər aşağıda göstəriləcəyi kimi “optik polost” şəklində hazırlanır ki, burada IrSi – nin qalınlığı 100 \AA – i keçməməlidir. Bu məqsədlə tərəfimizdən IrSi – Si nazik kontaktları almaq üçün çoxtəbəqəli metallaşma texnoloji rejimi işlənmişdir.



Şək. 5. IrSi – n – Si səthinin elektronogramması.



Şək. 6. IrSi – p – Si səthinin elektronogramması.

Müşahidə olunan dəqiq Kikuçi mənzərəsi – IrSi – p – Si səthinin elektroqramması (şək. 6) monokristalın yüksək dərəcəli ideallığından xəbər verir.

IrSi – Si kontaktı əsasında Şottki çəpərli diodlar spektrin IQ – oblastında şüalanmanı qeyd etmək üçün detektorlar qismində istifadə edilə bilər. Lakin, belə qəbuledicilərin kvant effektivliyi darzonalı və p – n keçidli yarımkəçiricilər əsasında fotoqəbuledicilərlə müqayisədə çox kiçikdir. Kvant effektivliyini artırmaq üçün Şottki – qəbuledicilər aşağıda göstəriləcəyi kimi “optik polost” şəklində hazırlanır ki, burada IrSi – nin qalınlığı 100 \AA^0 – i keçməməlidir. Bu məqsədlə tərəfimizdən IrSi – Si nazik kontaktları almaq üçün çoxtəbəqəli metallaşma texnoloji rejimi işlənmişdir.

Metal təbəqəsi ilə silisium arasında reaksiya vasitəsilə silisidin formalaşması zamanı metal təbəqə tərəfindən istifadə olunan silisiumun miqdarını nəzərə almaq lazımdır. Ir, Si, PtSi – nin sıxlıqlarının nəzəri qiymətləri istifadə olunmuş bu növ hesablamalar cədvəl 1 – də verilmişdir.

Cədvəl 1. Ayırı – ayırı təbəqələrin qalınlığı.

I qatın qalınlığı (Ir), A^0	75
II qatın qalınlığı (Si), A^0	13,2
III qatın qalınlığı (Ir), A^0	10
VI qatın qalınlığı (Si), A^0	13,2
V qatın qalınlığı (Ir), A^0	10
VI qatın qalınlığı (Si), A^0	13,2
VII qatın qalınlığı (Ir), A^0	10

Lakin, bu rejimi həyata keçirmək tozlandırıcı qurğuların qeyri – mükəmməlliyi nəticəsində çətinlik yaradır. Ona görə də sonrakı nəticələr birtəbəqəli metallaşma rejiminə aid olacaq. Birtəbəqəli metallaşma zamanı ftohəssas strukturların hazırlanması prosesini aşağıdakı sxem üzrə göstərə bilərik:

- p – tip silisiumun (və ya n - tip) oksidləşməsi (şək. 3.6);
- qoruyucu n (və ya p) oblastların formalaşması üçün pəncərələrin açılması (şək. 3.6 a);
- n – oblastların (və ya p) formalaşması üçün fosforun (və ya borun) diffuziyası;
- çəpər təbəqələrin formalaşması üçün pəncərələrin açılması (şək. 3.6 b);
- nazik metal (Ir) təbəqəsinin çəkilməsi (şək. 3.6 c);

- IrSi təbəqəsinin yaranması üçün vakuumda və qaz qarışığında termik emal (şək. 3.6 d);
- reaksiyaya girməmiş Ir – un və SiO₂ – nin kənarlaşdırılması (şək. 3.6 e);
- TiW diffuziya – çəpər təbəqəsinin və alüminium kontaktının çəkilməsi (şək. 3.6 f);
- TiW ərintisinin və kontakt pəncərədə IrSi təbəqəsinə qədər Al – un kənarlaşdırılması (şək. 3.6 g);
- aydınlaşdırıcı örtüyün çəkilməsi (şək. 3.6 z).

Texnoloji əməliyyatları azaltmaq məqsədi ilə 3 – 5 mkm spektral diapazonda işləyən fotoqəbuledicilərin hazırlanması üçün yeni metod təklif edilmişdir ki, bu metod aşağıdakından ibarətdir:

- IrSi ərintisinin əvəzinə IrTiW və ya Tl / IrTiW istifadə etmək.

Əsas istiqamətlər üzrə texnoloji marşrut belədir:

- lövhələrin oksidləşməsi;
- oksiddə pəncərələrin açılması;
- IrTiW və ya Tl / IrTiW – in tozlandırılması;
- IrSi alınması üçün termik emal;
- pəncərədə TiW aşındırılması;
- alüminium kontaktın tozlandırılması.

Termik emal prosesində müxtəlif diffuziya əmsalları olduğundan göstərilən ərintiləri təşkil edən komponent faza təbəqələşməsindən keçir və iridium silisiumla reaksiyaya girərək silisid əmələ gətirir. Qalan TiW ərintisi isə aşındırılmaz və cihazın deqradasiyasının qarşısını alan diffuziya çəpəri rolunu oynayır.

Optik litoqrafiya kontakt və proyeksiya kimi iki yerə ayrılır. Birinci halda fotoşablon (maska) fotorezist təbəqəsinə sıx yapışır, ikinci halda fotoşablonun xəyalı xüsusi optik sistemin köməyi ilə fotorezistin səthinə proyeksiyalanır. Mikroelektronikada sadə olduğundan kontakt üsulundan geniş istifadə olunur. Yüksək ayırdetməyə malik olduğu üçün proyeksiya variantı nanoelektronikada üstünlük təşkil edir. Məhz bundan sonra söhbət bu variantdan gedəcəkdir. Ayırdetmə qabiliyyəti, fotolitoqrafiyada rezistin səthinin 1mm - də alınan N sayda elə xəttlərin sayıdır ki, onların eni və aralarındakı məsafə bir - birinə bərabər (a_{min}) olur.

$$N = 1000 / 2a_{min}$$

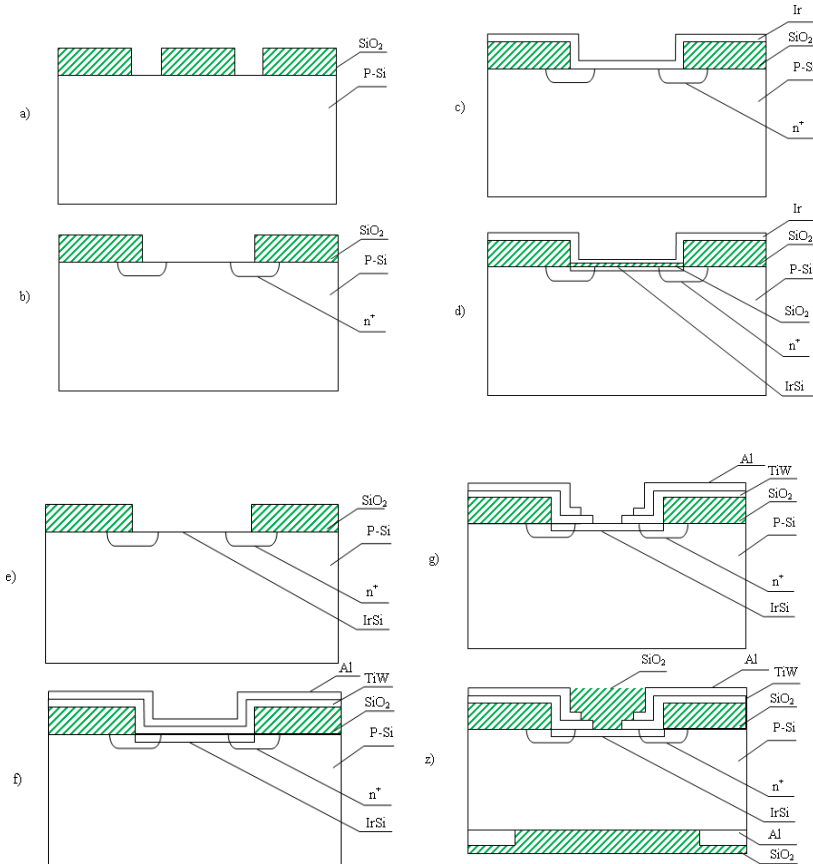
burada, a_{min} mkm - lə ifadə olunur.

Praktikada ayırdetmə qabiliyyəti a_{min} - un qiyməti ilə xarakterizə olunur. Bu qiymət inteqral mikrosxemlərin minimal topoloji ölçüsünü təyin

edir. Fotolitoqrafiyada proyeksiya sistemi Reley kriteriyası ilə təyin olunan ayırtdmə qabiliyyətinin fiziki həddinə malikdir. Reley kriteriyasına görə iki bir - birinə yaxın yerləşmiş nöqtə o vaxt ayrı görünür ki,

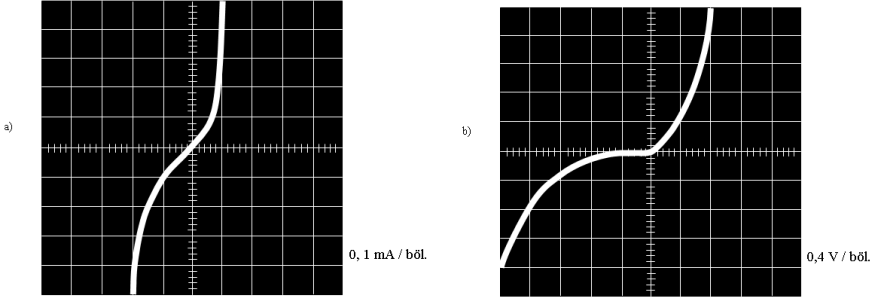
$$a_{\min} = k \cdot \lambda / n \cdot \sin\theta$$

şərti ödənsin. Burada λ – şüalanmanın dalğa uzunluğu, k - mütənasiblik əmsalı, n - mühitin sındırma əmsalı, θ - çıxışın apertur bucağının yarısıdır. Müxtəlif λ və rezist üçün k əmsalının qiyməti də müxtəlifdir (ultrabənövşəyi şüalar üçün $k = 0,3 \div 0,6$).



Şək. 7. IrSi – Si kontaktı əsasında Şottki çəpərli strukturların hazırlanmasının texnoloji sxemi.

Dördüncü fəsildə IrSi – Si əsasında Şottki çəpərli kontaktların elektrofiziki xassələrinə baxılmışdır. Termik və eləcə də maqnetron tozlanma üsulları ilə alınmış IrSi – p – Si əsasında strukturların VAX – 1 otaq temperaturunda özlərini omik xarakteristikalar kimi aparırlar. VAX – ın düz və əks budaqları praktiki olaraq xətti və simmetrikdirlər (şəkil 8 a). Struktur 80 K - ə qədər soyudulduqda VAX unipolyar şəkil alır (şəkil 8 b). IrSi – p – Si sərhədində potensial çəpərin hündürlüyünün hesablanmış qiyməti 0,16 eV – dur.



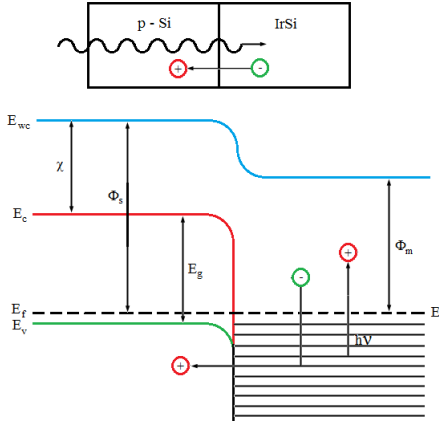
Şək. 8. IrSi – p – Si kontaktı əsasında Şottki diodunun VAX – ın ossilloqramı: a) 300 K, b) 80 K.

VAX – ın temperatur asılılığının tədqiqi yükün daşınması mexanizmi haqqında kifayət qədər informasiya verir. Temperatur asılılıqlarının çıxarılması üçün nümunələr avtotransformatorndan qidalanan termostata yerləşdirilmişdir. Nümunənin temperaturu birbaşa olaraq lövhədə yerləşdirilmiş xromel alüminium termocütü vasitəsi ilə kontrol edilir. Temperatur xarakteristikası çıxarılmazdan əvvəl termoemalın cihazların elektrik xassələrinə təsiri tədqiq edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, strukturun 250⁰ C – yə qədər termoemalı IrSi – Si kontaktının elektrik xassələrində dönməyən dəyişikliklər yaratmır.

Volt – farad xarakteristikalarının (VFX) ölçülməsi yarımkeçirici qeyri – bircins strukturların tədqiqində ən geniş yayılmış üsullardan biri sayılır. Bu xarakteristikaların köməyi ilə strukturlara və eləcə də yarımkeçiricilərin hazırlandığı materiallara xas olan bir sıra mühüm fiziki parametrlər təyin edilir. Dinamik rejimdə alınmış VFX mühüm maraq kəsb edir. Verilmiş metodun əsas üstünlüyü $C(U)$, $\partial C(U)/\partial U$ və $\partial^2 C(U)/\partial^2 U$ kimi xarakteristikaların birbaşa ölçülməsidir ki, bu da dəqiqliyin

artırılmasını əsaslı surətdə təmin edir. Dissertasiya işində VFX – nı ölçmək üçün blok – sxem yığılmışdır.

Beşinci fəsildə IrSi – Si strukturlarının optik və fotoelektrik xassələri öyrənilmişdir. Metal və yarımkeçirici kontakta gətirilərsə elektronun metalda Φ_m – çıxış işi və elektronun yarımkeçiricidə $\chi + V_y$ çıxış işi ilə nisbətindən asılı olaraq daxili emissiya nəticəsində elektronlar metaldan yarımkeçiriciyə və ya əksinə keçə bilərlər. Şəkil 9 – da $\Phi_m < \chi + V_y$ halı üçün p – tip silisidi – silisium üçün zona diaqramı verilmişdir.



Şək. 9. IrSi – p – Si əsasında Şottki fotodiodlarının işini nümayiş etdirən enerji diaqramı.

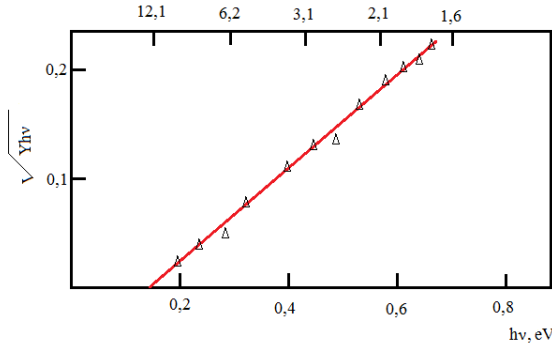
Bu halda elektronlar metaldan (silisiddən) termodinamik tarazlıq yaranana və metaldan və yarımkeçiricidə Fermi səviyyəsi bərabərləşənə kimi yarımkeçiriciyə (Si) keçir. Ayırma sərhədinin yaxınlığında yarımkeçiricidə yük daşıyıcılarla yoxsullaşmış oblast - elektrik sahəsi elektronların metaldan yarımkeçiriciyə emissiyasına mane olan kompensə olunmamış mənfi akseptor ionların həcmi yük oblastı yaranır, yarımkeçiricinin enerji zonaları aşağı əyilir.

İQ – şüalanmanın təsiri ilə bu strukturda iki tip elektron keçidi mümkün ola bilər. Əgər düşən fotonun enerjisi $h\nu \geq E_g$ olarsa, fotonun udulması zamanı yarımkeçiricidə elektron – deşik cütlüyünün generasiyası baş verir. Bu halda adi p – n keçidli fotodiodda olduğu kimi keçid sahəsi ilə müxtəlif yüklü daşıyıcıların ayrılması baş verir və foto e.h.q. – i yaranır.

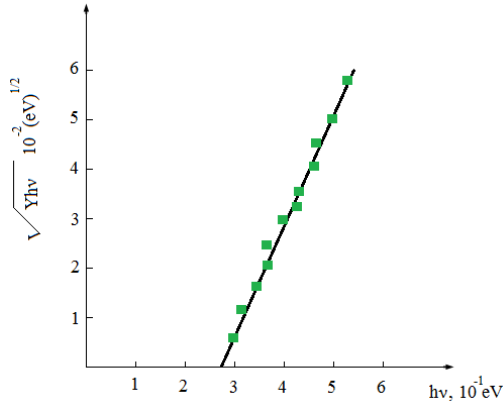
Ekspirimentlər və nəzəri hesablamalar göstərir ki, metaldan yarımkeçiriciyə daxili fotoemissiyanın Y – kvant çıxışının spektral asılılığı dəqiqləşdirilmiş Fauler formulu ilə təsvir oluna bilər:

$$Y = C_1 \frac{(h\nu - h\nu_0)^2}{h\nu}$$

burada, C_1 – Şottki kontaktının həndəsi, optik və fiziki xassələri ilə təyin olunan kvant fotoemissiya əmsəlidir.



Şək. 10. IrSi – p – Si əsasında fotodiod üçün fotocərəyanın işıq fotonunun enerjisindən asılılığı.

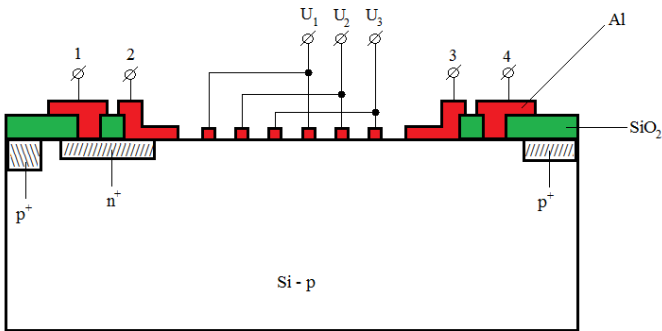


Şək. 11. PtSi – p – Si əsasında fotodiod üçün fotocərəyanın işıq fotonunun enerjisindən asılılığı.

Şəkil 10 və 11 – də IrSi – p – Si və PtSi – p – Si kontaktları əsasında fotodiodlar üçün müşahidə olunan kvant çıxışı asılılığı göstərilmişdir.

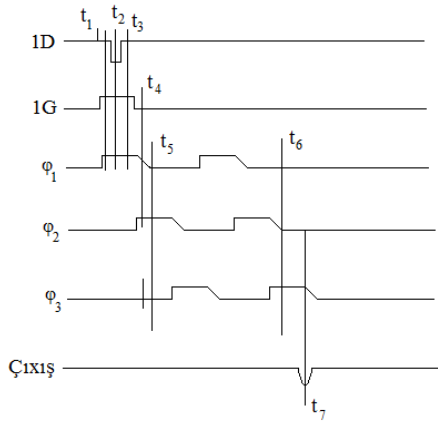
ŞÇFD – nin atmosferin şəffafliq pəncərələrində ayırdetmə qabiliyyəti potensial çəpərin hündürlüyünün azaltmasını təmin edən metallardan istifadə etməklə artırmaq olar lakin, bu zaman həsas elementin soyudulma temperaturunu azaltmaq lazımdır. 3 – 5 mkm oblastında şüalanmaları qeyd etmək üçün ən perspektivli diodlar PtSi – p – Si, Pd₂Si – p – Si, IrSi – p – Si kontaktları əsasında yaradılmış fotodiodlardır.

Altıncı fəsildə yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz (YƏC) əsasında informasiyanın oxunması üsuluna baxılmışdır. IrSi – Si əsasında fotoqəbuledicilərin ən böyük üstünlüyü onların vahid kristalda həm YƏC (yük əlaqəli cihaz) – in, həm aktiv elementlərin, eləcə də gücləndirici sxemlərin alınmasının mümkünlüyüdür. YƏC bir – birinə çox yaxın yerləşmiş metal – oksid – yarımkəçirici (MOY) kondensatorların matrisalarından ibarətdir. Yüklər matrisanın elektrodları altında saxlanıla bilər və nəzərəət altında olaraq kristalın səthi üzrə matrisanın bir elektrodunun altından qonşu elektrodla axaraq hərəkət edə bilər. YƏC üzərində konkret mikroelektron qurğuların konstruksiyası zamanı takt qida mənbəyini və idarəedici elektrodların qarşılıqlı yerləşməsini təşkil edən müxtəlif sxemlər tətbiq edilir. Yük əlaqəli cihazların əsas tipləri: səthi kanallı YƏC və gizli kanallı YƏC. Səthi kanallı YƏC – də yüklər yarımkəçirici – dielektrik sərhədində saxlanılır və daşınır. Üçfazlı n – kanallı YƏC şəkil 12 – də göstərilmişdir. Burada YƏC – i U₁, U₂, U₃ takt qida mənbəyinin şinlərinə birləşdirilmiş üç cüt daşınma elektrodu təşkil edir.



Şək. 12. Üçfazlı, n – kanallı YƏC.

Giriş diodu (1), giriş idarəedici elektrodundan (2) ibarət giriş qurğusu siqnal yük paketlərini registrin birinci daşıma elektrodunun altına daxil edilməsini təmin edir. Yük paketlərinin ekstraksiyası və detektə olunması çıxış idarəedici elektrodu (3) və diodla (4) həyata keçirilir. Takt qida mənbəyinin şinlərində gərginliyin zaman diaqramı və giriş həmçinin də çıxış siqnalları şəkil 13 – də göstərilmişdir. Potensial çuxurların yerləşməsi və siqnal yükünün paylanması isə şəkil 14 – də göstərilib. Başlanğıc $t = t_1$ anında φ_1 – takt şininə yüksək, U_2 və U_3 – şinlərinə isə alçaq gərginlik verilmişdir. Aydındır ki, idarəedici elektrodun U_1 – fazasının altındakı potensial çuxur daşınmanın digər elektrodları altındakı potensial çuxurlardan daha dərin olacaqdır. Giriş və çıxış diodları böyük müsbət gərginliklə bağlıdır ki, bu da elektronların giriş və çıxış idarəedici elektrodları altındakı kanallara və deməli, həm də YƏC – registrin daşıma elektrodlarının altına injeksiyasını istisna edir.

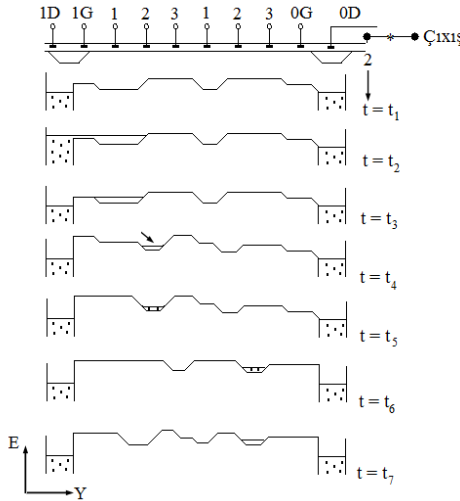


Şək. 13. YƏC – də takt impulslarının və çıxış siqnalının diaqramı.

Başqa sözlə desək, $t = t_1$ olduqda registrdə bütün potensial çuxurlar boşdur. t_2 – anında giriş diodunda gərginlik azalır, giriş idarəedici elektrodu açır və elektronları giriş idarəedici elektrodundan keçmək şərti ilə φ_1 – fazasının birinci idarəedici elektrodunun altınakı potensial çuxura injeksiya edir. İnjeksiya prosesinin sonunda U_1 fazasının birinci elektrodunun və giriş idarəedici elektrodunun altındakı səthi potensiallar giriş diodundakı potensiala bərabər olur. $t = t_3$ olduda giriş diodu yenidən

yüksək gərginlik vasitəsi ilə bağlanır, ϕ_1 – fazasının birinci elektrodunun altındakı artıq yüklər giriş idarəedici elektrodu vasitəsi ilə yenidən dioda axır.

İnfraqırmızı şüalara həssas iridium silisidi – silisium quruluşların köməyi ilə yük əlaqəli cihazlı (YƏC) multipleksorla birgə monolit fotomatrisalar yaratmaq olur ki, bunların vasitəsilə də 3 – 5 mkm infraqırmızı oblastda təsvir almaq mümkündür. Belə fotoqəbuledicilər kiçik kvant effektivliyinə malik olmalarına baxmayaraq çox cüzi küyə malik olurlar.



Şək. 14. Takt diaqramında qeyd olunmuş müxtəlif zaman anlarında YƏC boyunca yük və potensialın paylanması.

Nəticədə U_1 – fazasının birinci idarəedici elektrodunun altında müəyyən miqdarda elektron - qiyməti U_1 – fazası və giriş idarəedici elektrodunun potensialları fərqi ilə təyin olunan siqnal yükü qalır. t_4 – anında U_2 – fazasında gərginlik yüksək qiymət alır, U_1 – fazasında isə gərginlik azalmağa başlayır. Bu zaman U_1 – idarəedici elektrodunun altındakı siqnal yükü U_2 – fazasının səthi potensialı ϕ_1 – fazasının potensialından böyük olan birinci idarəedici elektrodunun altına axır.

Əsas nəticələr:

1. Nanohissəciklərin alınması üçün plazmatron qurğusu işlənilib hazırlanmışdır. Qurğuda çətinəriyan materialdan hazırlanan katod ilə intensiv soyudulan anod arasında elektrik qövsü yaradılır, qövsdən plazmayaradıcı madəllər olan işçi cisimlər buraxılır və yekunda işçi cisimlər ionlaşaraq plazma yaradır. Alınan plazmanın temperaturu 400^0 K – dən 4200^0 K - ə qədər dəyişir və bu istənilən metal nanohissəciciyi almağa imkan verir. Müəyyən olunmuşdur ki, katalitik plazmokitimyəvi çökdürmə üsulundan istifadə etməklə nanohissəciklərin ölçülərinə (diametrinə) və yaranma sürətinə nəzarət etmək olar.

2. Nanohissəciklərin alınmasının digər üsulu - qövs boşalmasında termiki emal üsulu təcürbi sınaqdan keçirilmiş və müəyyən olunmuşdur ki, qövs boşalmasında nanohissəciklərlə yanaşı həm fülleren həm də nanoborular alınır. Lakin bu üsulun effektivliyi aşağı olur, belə ki, alınan nanohissəciklərin miqdarı ümumi kütlənin 10 faizindən yuxarı olmur.

3. Metal sislisid – silisid (IrSi-Si) əsasında Şottki kontaktlarının hazırlanması üçün “Oratoriya-5”, “ANAD-2” qurğularından istifadə olunaraq iridium təbəqəsinin çəkilməsinin aşağıdakı optimal rejimi müəyyənləşdirilmişdir:

- hədəfə verilən gərginlik: $U=470\text{V}$;

- anod cərəyanı: $J=0,35\text{A}$;

- tozlandırma müddəti: $\tau=50-250\text{san}$.

Müəyyən olunmuşdur ki, termiki emaldan sonra alınan iridium təbəqəsinin yaranma sürəti parabolik qanunla dəyişir. Müşahidə olunan Kikuçi mənzərəsi IrSi – p – Si təbəqəsi səthinin elektronoqamması monokristalın (IrSi) yüksək dərəcəli ideallığına dəlalət edir. Aşkar edilmişdir ki, termiki emal zamanı iridium sislisid üzərində qalınlığı 40Å olan oksid təbəqəsi (SiO_2) yaranır ki, bu təbəqə IrSi –Si strukturunu xarici təsirdən qoruyur.

4. IrSi –Si konaktı əsasında infraqırmızı oblastda işləyən fotodiodun hazırlanması üçün texnoloji marşrut işlənilib hazırlanmışdır. Fotodiodların hazırlanması üçün ənənəvi fotolitoqrafiya üsulu ilə yanaşı imprint litoqrafiya üsulu da tətbiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, imprint litoqrafiya elementlərinin ölçüləri 100 nm – dən kiçik olan texnologiyalarda şablonların hazırlanması üçün istifadə oluna bilər.

5. Elementlərin və onların volt – amper xarakteristikalarını təyin etmək üçün yeni ölçmə sistemi yaradılmışdır. Yəni sistem müasir ölçmə texnologiyaları –National Instrumets (Nİ) kompaniyasının ölçmə plataları

(USB 6080), drayverləri (Nİ-DAQmx) və proqram təminatı (Lab VIEW) əsasında işlənmişdir. Lab VIEW mühitində işlənmiş proqram təminatı elementin V_a – boş gedişinin gərginliyini, I_{sc} – qısa qapanma cərəyanı, P_{max} – maksimal çıxış gücünü, f.i.ə -nı və FF VAX – ın dolma əmsalını avtomatik olaraq təyin etməyə imkan verir. Təklif etdiyimiz qurğuda da dəyişən müqaviməti, istok –stok müqavimətini proqram yolu ilə geniş diapazonda dəyişmək mümkün olan İRF530NS sahə tranzistoru vasitəsi ilə həyata keçirilir. Ölçmə prosesinə sərf olunan vaxt az olduğundan element qızdır, imitatorun şüalanması dəyişmir, elementin gücü isə kifayət qədər sabit qalır.

6. Cərəyan keçirən elektrodlar qismində karbon nanoboruları əsasında mikronaqillər hazırlanmış və onun hazırlanmasında qrafitin soyuq destruksiyasının üstün olması aşkar olunmuşdur. Test kristallarında karbon nanoborularının keçiriciliyi tədqiq olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, çoxtəbəqəli nanoborunun VAX - ı 7V gərginliyə qədər xəttidir. Məhz nanoborunun bu və ballistik keçiricilik xassəsinə görə alüminiumun əvəzləyicisi rolunu oynayır.

7. Müəyyən edilmişdir ki, İrSi – n - Si əsasında Şottki diodunun volt - amper xarakteristikası (VAX) 10^3 - 10^4 düzələndirmə əmsalına malik olub unipolyar şəkə malikdir. Maqnetron tozlandırma üsulu ilə alınmış İrSi - Si kantaktı əsasında Şottki çəpərin hündürlüyü 0,94 eV - a bərabər olub temperaturdan asli deyildir. İrSi – p - Si əsasında Şottki diodun Volt - amper xarakteristikası otaq temperaturunda omik, maye azot temperaturunda isə unipolyar şəkə malikdir. Gərginliyin $1/c^2$ nisbətindən asılılığı xəttidir, bu isə ionlaşmış aşqarların yarımkəçiricinin səthə yaxın oblastında bərabər paylanmasını göstərir.

8. Müəyyən olunmuşdur ki, İrSi - nin qalınlığı azaldıqca infraqırmızı şüaların udulması artır. Bu qanunauyğunluğun klassik optikanın mülahizələri ilə (Drude modeli) uzlaşmasına baxmayaraq, bu asılılıq məhz sırf kvant ölçü effektinin nəticəsidir. İrSi – n - Si strukturları üçün cərəyan həssaslığı otaq temperaturunda $\lambda=0,62$ mkm dalğa uzunluğuda 43 mA/Vt qiymətini alır. Tədqiq olunan İrSi - Si strukturlarından keçən cərəyan işıqlandırma zamanı tətbiq olunan əks gərginliyin kiçik qiymətlərində (0,2 - 0,8 V) təxminən 150-250, bir qədər böyük qiymətlərində (1-2V) 300-350, əks gərginlik 6-8 V olduqda isə 10^3 dəfə artır, yəni İrSi – p - Si Şottki çəpərli strukturların optimal iş rejimi $U=6-8V$ təşkil edir. İrSi - Si fotehəssas strukturlarında şüalanmanın udulma dərəcəsi yalnız İrSi-nin qalınlığından yox, həm də dielektrikin qalınlığından asılılığı müəyyən

olunmuşdur. Belə ki, $\lambda=4,2$ mkm dalğa uzunluğunda SiO_2 –nin qalınlığı 0,75 mkm-ə bərabər olduqda maksimum udulma müşahidə olunur. Kvant effektivliyinin artırılmasının fiziki əsasları işlənmiş və təcrübi nəticələri izah etmək üçün sadələşdirilmiş birölçülü model təklif olunmuşdur. IrSi -də istilik elektronlarının sərbəst qaçış yolunun uzunluğu üçün 450 \AA^0 qiyməti aşkar edilmişdir.

9. Xətti silindirik dalğalar metodu ilə hesablamalar əsasında elektron quruluşu, zonalararası optik keçidlər və metal karbon nanoboruları arasında əlaqələr ətraflı öyrənilmiş, nanoborularda optik keçidlərin enerjisi və elektron hallarının sıxlığı haqqında dəqiq nəzəri informasiyalar alınmışdır ki, bunların vasitəsi ilə nanoboruların optik xasəllərinin yük əlaqəli cihazlara təsirini müəyyənləşdirmək mümkündür.

10. Metal - oksid - yarımkəçirici yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz (YƏC) əsasında enerjidən asılı olmayan yaddaş qurğusunda informasiyanın yeni oxunması üsulu müəyyən edilmiş, aşkar edilmişdir ki, informasiyanın yeni oxunması üsulunda əlavə elementlərə ehtiyac olunur və cihazın işlənmə sürəti YƏC –in işləmə sürətinə bərabər olur. Iridium silisid silisium (IrSi-Si) kontaktı əsasında Şottki çəpərli sahə tranzistoru işlənilib hazırlanmış və göstərilmişdir ki, matrisalardakı fotodiodları fototranzistorlarla əvəz etdikdə ənənəvi fotoqəbuledicilərin spektral həssaslıq oblastı genişlənir və fotohəssaslıq artır. IrSi -Si fotodiodu əsasında avtonom cihaz olan cərəyan mənbəyi, maye kristallı ekran və elektron blokundan ibarət ölçüsü (uzunluğu) 8sm, işləmə sürəti isə 3-saniyəyə bərabər olan rəqamsal elektron termometri yaradılmışdır.

Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı elmi işlərdə nəşr

olunmuşdur:

1. Kərimov E.Ə., Quluzadə B.Ə., Nəsənova R.R., Bayramova Ş.Ə. Pd-Si strukturların alınma texnologiyası və fotoelektrik xassələri // Fizika, 2009 , c.XV, № 4, s.35-37.
2. Курбанов М.А., Султанамедова И.С. Керимов Э.А. и др. Плазменная кристаллизация композитов полимер – сегнетопьезоэлектрическая керамика и их пьезоэлектрические свойства. Физика Твёрдого Тела, 2009, т. 51, вып. 6. стр. 1154 – 1160.
3. Керимов Э.А., Байрамова Ш.А, Мехтиеv Э.В. E.V. Вольт – фарадные характеристики контакта PdSi-Si // АМАКА-ның Хəбərləri, 2010, с. 13, № 1, s. 56-58.
4. Керимов Э.А., Асадуллаева М.М., Байрамова Ш.А., Касимова Ф.И. Механизм токопереноса в контактах силицид палладия – кремний // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri, 2010, №2, с. 108-114
5. Kərimov E.Ə., Bayramova Ş.Ə. PtSi kontaktı əsasında Şottki fonodiodlarının (ŞFD) effektivliyinin artırılmasının fiziki əsasları // Azerbaijan Journal of Physics, Fizora, v. XVI, n. 3-4, series: Az, december, 2010, p.15-16
6. Kərimov E.Ə., Rəhimov R.M., Paşayev N.M., Əsədov X.Ə. Nanotexnologiya // Bakı.: “AM - 965” MMC, 2009
7. Ширин-заде А.А., Kərimov E.Ə., Асадов Х.А., Пашаев Н.М., Фатуллаев С.А., Казымов Н.Ф. Полупроводниковые сенсоры // Баку.: «ЭЛМ», 2010, ISBN 978- 178- 9952- 453-11-9
8. Kərimov E.Ə., Kazımov N.F., Silisid platin əsasında sürətli elektron informasiya qurğusu // Ölkə İqtisadiyyatının İnkişafında Elmi İnnovasiyanın rolu, Beynəlxalq Elmi- praktiki konfransın Materialları, 24-25 noyabr 2011, s. 464-465.
9. Kərimov E.Ə. IrSi₃-Si əsasında fotoelementin alınma texnologiyası // Fizika, 2011, cild XVII № 3, seriya: Az, s. 29-30
10. Kərimov E.Ə. IrSi-Si kontaktı əsasında fototranzistor // Fizika, 2011, cild XVII №3, seriya: Az, s. 9-10
11. Керимов Э.А. Фоточувствительный элемент на основе кантакта IrSi-Si // АМЕА, Хəбərlər, cild XXXI, № 5, 2011, s. 158-161.
12. Керимов Э.А. Технология получения мощных диодов Шоттки на основе силицида Pt/Ni // АМЕА, Хəбərlər, cild XXXI, № 2, 2011, s.166-168

13. Kərimov E.Ə. Kazımov N.F. IrSi₃-alınması texnologiyası və onun elektrofiziki xassələri // Fizika, 2012, cild XVIII № 1, seriya: Az, s.17-20
14. Kərimov E.Ə. Metal silisidi-silisium əsasında fotodiodların fotoelektrik xassələri // AMAKA-nın Xəbərləri, 2012, c. 15, № 4, s. 43-47.
15. Kərimov E.Ə. IrSi-SiO₂-Si əsasında fotoqəbuledicinin alınma texnologiyası // Fizika, 2012, cild XVIII № 3, seriya: Az, s. 6-8
16. Kərimov E.Ə., Fətullayev S.A., Fətullayev A.A. Kvant çuxurunda elektronun dreyf sürəti // Fizika, 2012, cild XVIII № 3, seriya: Az, s. 21-22
17. Kerimov E.A. Investigation of change of the height of potential barrier of the contact IrSi-Si // The Recent Trends in Science and Technology Management, London, 09-10 May, 2013, p.341-345
18. Керимов Э.А. Фоточувствительные структуры с барьером Шоттки на основе контакта силицид платины – кремний //The materials of IV international distance research and training conference, Scholarly discussion: problems of mathematics physics, chemistry, biology, Moscow, 2013, p. 53-60.
19. Керимов Э.А. Разработка тестового кристалла и исследование проводимости углеродных нанотрубок. // Наука и образование в современном мире, Сборник научных трудов по материалам Международной научно – практической конференции, часть I, Москва 31 мая 2013г. Стр.17-23.
20. Kerimov E.A. Electrophysical properties of photodiode on base of iridium silicon – silicide. Azerbaijan journal of Physics, Volume XIX, Number 1, Section: En, April, 2013, p. 67-69.
21. Керимов Э.А. Method of IrSi-Si thin contacts obtaining and nanosystems generation. Science and World, International Scientific Journal, № 1(1), 2013, Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey», The journal is founded in 2013 (September), Volgograd, 2013, p. 18-22.
22. Керимов Э.А. Фоточувствительные структуры с барьером Шоттки на основе контакта силицид никеля – кремний. Тенденции и перспективы развития современного научного знания, материалы VII международной научно – практической конференции, часть I, Москва 31 мая 2013г. . Стр.17-23.
23. Керимов Э.А. Электрофизические свойства контактов с барьером Шоттки на основе IrSi-Si. Bulletin of Kemerovo Journal of theoretical and applied research, Founded in 1999, 2013, №3 (55), Vol. 1, p. 165-169.
24. Kerimov. E.A. Electrophysical properties of contacts with Schottky

Barrier on basis IrSi-Si. European Applied Sciences, №8, 2013, ORT Publishing Schwieberdingerstr. 59, Schwieberdingerstr.59, 70435 Stuttgart, Germany, 2013, p.212-217.

25. Kerimov. E.A. Image Detector With a Shottky Barrier Based On a Contact IRSI – Si. Intellectual Archive, 9350 Yonge Street P.O. Box 61533, Richmond Hill, Ontario L4C 3N0, Canada. Volume 2, Number 5, p. 7-14.

26. Kərimov E.Ə. IrSi-Si quruluşlarında yaddaş elementləri ilə yük əlaqəli cihaz (YƏC) əsasında informasiyanın sayılması. Azerbaijan journal of Physics, Volume XIX, Number 1, Section: Az, April, 2013, p. 15-18.

27. Kərimov E.Ə. Reading information based on freight-related equipment with elements of the memory in the iridium silicide structures. Transactions of Azerbaijan National Academy of sciences Physics and Astronomy, Volume XXXIII, Number 5, 2013, p. 120-123.

28. Kərimov E.Ə., Musayeva S.N. Şottki çəpərli strukturların fotokeçiriciliyinin tədqiqi. Fizika, 2013, cild XIX, №3, seriya: Az, s. 27-29.

29. Керимов Э.А. Особенности и режим работы Шоттки – матриц на основе контакта IrSi – Si. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Физика Математика. № 26 (169), выпуск 33, 2013, стр. 159 – 163.

30. Ibrahimov H.B., Kerimov. E.A. Energy of optical transitions of metal nanotubes. European Science Review, 2014, January-February, №1, Austria, Vienna, p. 163-167.

31. Ибрагимов Г.Б., Керимов Э.А. Фотоэлектрические свойства фотодиодов на основе силицида металла – кремний. АМАКА – pin Xəbərləri, 2014, c. 17, № 1, s. 42 - 47.

32. Керимов Э.А. Шумы фотоприемных устройств на основе диодов Шоттки. Электронный научный журнал «ФИЗ-МАТ», Выпуск 1 (15)/ Январь –март 2014, Москва, стр. 3-8.

33. Г.Б. Ибрагимов, Керимов Э.А. Фотоэлектрические свойства фотодиодов. Вестник Московского Городского Университета, серия «Естественные науки», №2 (14), Москва 2014, стр. 6-15.

34. Kərimov E.Ə., Musayeva S.N. Optik informasiyanın saxlanması və iridium silisid nazik təbəqəsində kvant ölçü effektləri. Azerbaijan Journal of Physics, Volume XX, Number3, Section: Az, November, 2014, p.6-8.

35. Ибрагимов Г.Б., Керимов Э.А. Механизм токапереноса в контактах силицид иридия – кремний (IrSi – Si). Вестник Северного (Арктического) Университета им. М.В. Ломоносова, Архангельск, 2014, №3, стр. 109-114.

36. Керимов Э.А. Физические основные работы фотодиодов с барьером Шоттки. Вестник Московского Городского Университета, серия «Естественные науки», №1 (17), Москва 2015, стр. 35-39.
37. Kərimov E.Ə., Musayeva S.N. Metal silisidi – silisium kompoziti əsasında fotohəssas elementlərin hazırlanma metodikası və potensial çərərin hündürlüyünün dəyişməsinin tədqiqi. Azerbaijan Journal of Physics, Volume XXI, Number 03, Section: Az, October, 2015, p. 12-15.
38. Керимов Э.А. Физические свойства контактов с барьером Шоттки на основе силицид иридия – кремний. Микроэлектроника, 2015, том 44, № 3, с. 1–4.
39. Керимов Э.А. Фотоэлектрические и оптические свойства фотодиодов с барьером Шоттки на основе IrSi – Si. Микроэлектроника, Москва, 2016, том 45, № 2, стр. 1–7.
40. Керимов Э.А. Плотность электронных состояний в области уровня Ферми нанотрубки // Научная мысль, Россия, 2015, № 6, стр. 76-80.

Э.А. КЕРИМОВ

**ТЕОРИТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ИК
- ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА СИЛИЦИД
ИРИДИЯ - КРЕМНИЙ, ВКЛЮЧАЯ НАНОРАЗМНЫЕ
СТРУКТУРЫ**

Резюме

Сочетание МОП (метал – окисел - полупроводник) – ячеек с ПЗС (приборы с зарядовой связью) открывает широкие возможности для создания энергонезависимых запоминающих устройств (ЗУ) с высокой плотностью записи информации. Один из основных вопросов, которые необходимо решить при создании устройств, имеющих в качестве элемента хранения МОП – конденсатор, является регистрация количества заряда, хранимого в структуре. При этом записанная информация не должна разрушаться, потребляемая мощность должна быть минимальна, темп считывания – как можно более высоким. Данная работа посвящена анализу способов считывания информации в ЗУ на МОП-ПЗС, которые могут найти применение при построении накопителей различных типов.

Экспериментально режим считывания изучался на накопителе, представлявшем собой 4 - тактный ПЗС - регистр на кремнии р - типа, рядом с каждым электродом которого располагался МОП – конденсатор. Для ввода заряда в регистр использовалась диффузионная область, выходной сигнал регистрировался с помощью линейного усилителя.

Записанный в МОП – структуру заряд любого знака может длительное время сохраняться на ловушках в нитриде кремния. Будем считать, что захват положительного заряда на ловушки при подаче отрицательного напряжения достаточной амплитуды соответствует состоянию логической нуля, а захват отрицательного заряда (неосновных носителей) при подаче положительного напряжения – состоянию логической единицы. Записанный заряд меняет пороговое напряжения МОП - структуры, поэтому при подаче на нее обедняющего напряжения емкость образующейся потенциальной ямы будет различна для состояний логического нуля и логической единицы.

E.A. KERIMOV

**THEORETICAL AND PILOT STUDIES OF
PHOTORECEIVING DEVICES IK - RANGE ON THE
BASIS OF THE COMPOSITE IRIDIUM SILICIDE -
SILICON, INCLUDING NANOSCALE STRUCTURES**

Annotation

MOS combination (metal – oxide - semiconductor) – cells with a CCD (devices with charging communication) opens ample opportunities for creation of the non-volatile tape recorders (TR) with high density запись information. One of the main questions which need to be solved at creation of the devices having as an element of storage of MOP – the condenser, is filing of quantity of the charge stored in structure. Thus written-down information should not collapse, power consumption has to be minimum, rate of reading – higher. This work is devoted to the analysis of ways of reading of information in storages on MOS-CCD which can find application at creation of stores of various types.

Experimentally the mode of reading was studied on the store representing 4 - a cycle CCD - the register on silicon p - type near which each electrode MOS – the condenser settled down. For charge input in the register the diffusion area was used, the output signal was registered by means of the linear amplifier.

Written down in MOS – structure the charge of any sign can remain the long time on traps in silicon nitride. Let's consider that capture of positive charge on traps when giving the negative tension of sufficient amplitude corresponds to a state logical zero, and capture of the negative charge (minority carriers) when giving positive tension – to a condition of logical one.

The written-down charge changes threshold MOP tension - structures therefore when giving on it the impoverishing tension the capacity of a being formed potential well will be various for conditions of logical zero and logical one.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ**

На правах рукописи

ЭЛЬЧИН АХМЕД оглы КЕРИМОВ

**ТЕОРИТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ИК
- ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТА ИРИДИЙ
СИЛИЦИД -КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР, ВКЛЮЧАЯ
НАНОРАЗМНЫЕ СТРУКТУРЫ**

**Специальность: 3361.01 – Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты, микро и нанoeлектроника**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора физических наук**

БАКУ - 2016