

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

SAHƏLİ EMİSSİYA HADİSƏSİNDƏ SƏTHİN ÜZƏRİNDƏ KİÇİKÖLÇÜLÜ QURULUŞLARIN FORMALAŞMASI

İxtisas: 2203.01- Elektronika

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Elçin Məmmədhusəyn oğlu Əkbərov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun "İnfraqırmızı fotoelektronika və plazma hadisələri" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika elmləri doktoru, dosent
İlham Soltan oğlu Həsənov

Rəsmi opponentlər: Fizika elmləri doktoru, dosent
Ayaz Hidayət oğlu Bayramov

Fizika elmləri doktoru, dosent
Elçin Əhməd oğlu Kərimov

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Elşən Fayaz oğlu Nəsirov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED1.14 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BED1.14 Birdəfəlik dissertasiya şurası

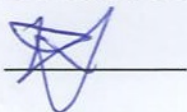
Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Nazim Timur oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent
Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva

Elmi seminarın sədri:



Fizika elmləri doktoru, dosent
Tahir Cümşüd oğlu İbrahimov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Plazma ion mənbələrinin uzunmüddətli təkmilləşdirilməsi sürətləndirici texnika, izotopların elektromaqnit ayrılması, bərk cisimlər fizikası və mikroelektronikada ion-dəstə texnologiyası, plazma fizikası və idarəolunan termonüvə sintezi, kosmik aparatların uzunmüddətli işləməsi və sair bu kimi bir çox elmi-texniki istiqamətlərdə inkişafı təmin etmişdir. Bu tipli qurğularda ionlar qazboşalmalı plazmada elektronların atomlarla və molekullarla qarşılıqlı toqquşması nəticəsində əmələ gəlir və formalaşmış dəstədə ionların konsentrasiyası plazmanın sıxlığı ilə təyin olunur. Uzun müddət plazma mənbələrinin ion-optik xarakteristikaları müxtəlif üsullarla yaxşılaşdırılmaq istənilsə də bu mümkün olmamışdır.

İstiqamətlənmiş müsbət yüklü ion dəstəsini almaq üçün prinsip etibarı ilə ən üstün üsul ionların səhəli emissiyası üsuludur. Bu üsul ion dəstə cərəyanının sıxlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa imkan verir, ionların emissiyası yüksək elektrik sahəsinin təsiri altında maye kondensə fazadan aparılır. Burada ion dəstə cərəyanının sıxlığının yüksək həddə olması onunla əlaqədardır ki, yüksək elektrik sahəsinin təsiri altında mayenin səthi dartılır və itiləşir, iti ucluqda elektrik sahəsinin qiyməti dəfələrlə çoxalır və beləliklə, bütün atomların axını ion dəstəsinə çevrilir. Əlbəttə, dəstənin cərəyanı plazma emitter ilə müqayisədə kiçikdir, amma maye metal ion mənbələrində dəstənin parlaqlığı digərlərindən bir neçə tərtib böyükdür, çünki, emissiya zonası həddindən artıq kiçik ölçülərə malikdir.

Keçirici maye emitterdə özünəməxsus şəkildə bir çox fiziki hadisələr baş verir: iynənin səthi işçi maddə ilə isladılır, elektron bombardmanı vasitəsilə qızdırılmış iynədə maye zirvəyə doğru axır, yüksək elektrik sahəsinin təsiri altında mayenin səthi deformasiya olunur, həddindən artıq kiçik oblastda ionların generasiyası baş verir, həyəcanlanmış atomlar şüalanır və spektral xəttə böyük genişlənmə əmələ gəlir.

İon cərəyanının müəyyən qiymətində ionlarla yanaşı yüklü nanohissəciklərin generasiyası da baş verir. Metalik şırnaq kifayət qədər uzandıqda elektrik sahəsi şırnağın ucunu qopardır və dəstədə yüklü xırda dispersli fazanın əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır. Nanohissəciyin əks impulsu mayenin səthini həyəcanlandırır və kapilyar dayanaqsızlığın əmələ gəlməsinə səbəb olur. Nəticədə ion cərəyanı yüksək tezlikli rəqslərə məruz qalır.

Maye metal ion mənbələri vasitəsilə səthin modifikasiyası əsasən fokuslandırılmış ion dəstələrin səth üzərinə çökdürülməsi yolu ilə aparılır. Burada dəstələr maye metal ion mənbəyi vasitəsi ilə alınır və sonra elektrostatik linzlarla fokuslandırılır. Verilən üsul kifayət qədər mürəkkəbdir, çünki linzalar müxtəlif təhriflərə məruzdur. Buna görə də elektrostatik linzalardan istifadə etmədən yaxın məsafədən səthin modifikasiyası şərtləri araşdırılması aktual istiqamətdir.

Biz burada kiçikölçülü quruluşların yaradılması üçün həm yüklü nanozərrəciklərin çökdürülməsi, həm də ion optikasından istifadə etməyərək səthin modifikasiyası şərtlərini tədqiq etmişik. Eyni zamanda dəstədə yüklü nanozərrəciklərin generasiyası zamanı onların ionlarla toqquşması nəticəsində baş verən fiziki proseslər araşdırılmışdır. Qızıl, gümüş, indium, qalay və sair kimi müxtəlif elementlərin nanozərrəcikləri alınmış və onların səth üzərinə çökdürülməsi proseslərinə baxılmışdır.

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun elmi tədqiqat planına əsasən yerinə yetirilmişdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:

Dissertasiya işinin əsas məqsədi sahəli ion emissiyası hadisəsinin vasitəsilə müxtəlif metalik elementlərin nanozərrəciklərinin generasiyası və keçirici səth üzərində kiçikölçülü quruluşların formalaşması zamanı baş verən fiziki proseslərin təyin edilməsindən ibarətdir.

Dissertasiya işinin məqsədinə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuşdur:

- Maye metal ion mənbələrinin əsas elementi olan iynələrin hazırlanması texnologiyasının, mexaniki və elektrokimyəvi üsullarla hazırlanmış iynələrin fərqli və üstün cəhətlərinin müəyyən edilməsi.
- İşçi maddələr vasitəsilə müxtəlif materiallardan hazırlanmış iynələrin hansı şəraitdə islanmasının müəyyən edilməsi.
- Emissiya hadisəsi zamanı mənbənin volt-ampere xarakteristikasının, nanozərrəciklərin alınma cərəyanının, onların ölçülərinin müəyyən edilməsi.
- Sürətli ionların ağır nanohissəciklərlə toqquşmasının araşdırılması.
- Məsafədən idarəolunan pyezomasa vasitəsi ilə hərəkətə gətirilən keçirici səth üzərində kiçikölçülü quruluşların hazırlanması.

Tədqiqat metodları:

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində tədqiqat obyektləri kimi maye metal ion mənbəyində ionların (In^+ , Sn^+ , Au^+) və həmin elementlərin yüklü nanohissəciklərinin generasiyası, xırda dispersli fazanın vasitəsilə çökdürülmüş dar və uzun zolaqlar, Qabor linzasında termoemissiyanın vasitəsilə elektronların fəza yükünün formalaşması metodlarından istifadə olunmuşdur.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- Çoxkomponentli ion dəstəsində sürətli ionların yüklü nanohissəciklərin daxilindən keçməsi nəticəsində onların enerji itkisi və maddədə qaçış yolunun qiymətləndirilməsi.
- Yaxın məsafədə yerləşən hərəkətli oturacağa dar və uzun zolaqların çökdürülməsi və üsulun praktikada tətbiqlərinin qiymətləndirilməsi.
- Plazma linzasının vasitəsilə ağır ionlar impulsu dəstəsinin fokuslandırılmasında kompensə edən elektronların elektromaqnit tələdə toplanma müddətinin hesablanması.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

- İlk dəfə olaraq ion mənbəyinin əsas elementi olan iynə volfram materialından hazırlanmış və vakuum şəraitində qızılın evtektik ərintisi ilə isladılmışdır.

- Çoxkomponentli dəstədə ionların enerji itkisi müşahidə olunmuşdur və hadisə komponentlərin toqquşmasının nəticəsi kimi izah edilmişdir.
- Mənbənin iynəsindən yaxın məsafədə yerləşən hərəkətli keçirici oturaçağın üzərinə eni mikrometr miqyaslı olan In və Sn zolaqları çökdürülmüşdür.
- İmpulsu ağır ion dəstələri fokuslandırmaq üçün plazma linzasında elektronların fəza yükünün toplanma müddəti hesablanmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

Müxtəlif hissəciklərin mürəkkəb tərkibli ion dəstələrində qarşılıqlı təsiri və bunun nəticəsində onların enerji itkiləri spektrometrlərdə, enerji analizatorlarında, sürətləricilərdə və başqa sistemlərdə nəzərə alınmalıdır. Fəza yüklü linzalarda elektrik sahəsinin yaranma müddəti impulsu ion dəstələrin formalaşdırılmasında müəyyən təsirə malikdir. Maye metal ion mənbənin vasitəsilə səthin üzərinə nazik və uzun zolaqların çökdürülməsi mikroelektronikada öz tətbiqini tapa bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi:

Dissertasiya işinin aparılması zamanı alınmış tədqiqat nəticələri aşağıda qeyd olunan Beynəlxalq və Respublika konfranslarında müzakirə edilmişdir:

- Böyük miqyaslı tədqiqat layihələri-2012, “Yüksək texnologiyalar üçün materialşünaslıq və informatika” 09-12 noyabr 2012-ci il, Bakı;
- “Swift Heavy Ions in Mutter” International Conference, May 2015, Almaniya;
- Doktorantların və Gənc Tədqiqatçıların “XX Respublika elmi konfransının materialları” 2016, Bakı;
- “Metallurgiya və Materialşünaslığın Problemləri” Mövzusunda 2-ci Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfrans, 28-30 Noyabr 2017, Bakı, Azərbaycan;
- Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya Problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfrans, 24-25 May, 2018-ci il, Bakı, Azərbaycan.

Dissertasiyanın əsas materialları 11 publikasiyada dərc edilmişdir ki, onlardan 6-ı məqalə (o cümlədən 3-ü impakt faktorlu xarici elmi jurnal), 5-i konfrans tezisidir. Əsərlərin siyahısı avtoreferatın sonunda verilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı: Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Fizika İnstitutu, 2.8 sayılı “İnfraqırmızı fotoelektronika və plazma hadisələri” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın həcmi, quruluşu və əsas məzmunu: Dissertasiya işi girişdən, 5 fəsildən, nəticə və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 200548 işarə, 60 şəkil, 7 cədvəl və 99 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı ilə birlikdə, kompyüterdə yazılmış 150 səhifəlik mətndən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

İşin giriş hissəsində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi və müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar göstərilmiş, elmi yeniliklər və alınmış nəticələrin elmi və praktik əhəmiyyətləri öz əksini tapmışdır.

Birinci fəsildə dissertasiya işinə aid olan elmi ədəbiyyat materialları müqayisəli şəkildə təhlil edilərək verilmişdir. Burada keçirici maye emitterin səthində baş verən fiziki proseslər, ionların və nanodamcıların mayenin səthindən emissiyası hadisəsi, yüklü zərrəciklərin generasiyası və onların ölçülərinin araşdırılması, müxtəlif növ maye metal ion mənbələrinin quruluşları, mənbənin yaşama müddəti, bucaq intensivliyi və paylanma, emitterlərin hazırlanma texnologiyaları və sair mövzular haqqında məlumatlar verilmişdir. Aralarında potensiallar fərqi olan konus formasında maye elektrod və ekstraktordan ibarət sistemdə mayenin səthində təzyiqin tarazlıq şərtinin səthi gərilmə əmsali və elektrik sahəsinin intensivliyi arasındakı münasibətdən asılı olduğu göstərilmiş, elektrik sahəsinin qiymətinin artması zamanı ionların emissiyası hadisəsində baş verən fiziki proseslər geniş şəkildə izah olunmuşdur.

İkinci fəsildə ion mənbəyinin iş prinsipi və hazırlanma parametrləri araşdırılmış, eyni zamanda eksperimental ölçmələrin metodikası və elektrik sxemləri təqdim edilmişdir. Konteyner tipli maye metal ion mənbəyinin yığılması, vakuum qurğusuna yerləşdirilməsi, anod iynələrin mexaniki və kimyəvi üsullarla hazırlanması texnologiyası, kütlə analizatoru vasitəsilə dəstələrin tərkibinin araşdırılması prinsipləri, səthin kiçikölçülü aşılması üçün MS2000 tipli pyezomasanın iş prinsipi və vakuum qurğusuna yerləşdirilməsi kimi mövzular geniş şəkildə şərh edilmişdir.



Şəkil 1. Au+Ge xəlitəsilə isladılmış volfram iynə

Göstərilmişdir ki, maye metal ion mənbələrinin əsas elementlərindən biri də iynədir. Belə ki, işçi maddə iynənin üzərində yerləşir və qızdırılma zamanı əriyərək səth boyunca iynənin iti ucuna doğru axır. İşçi maddənin növündən asılı olaraq iynənin materialı seçilməlidir ki, o, işçi maddə ilə islansın. Eyni zamanda iynənin materialının ərimə temperaturu işçi maddənin ərimə temperaturundan böyük olmalıdır. Emissiya hadisəsinin baş vermə gərginliyi və iynənin uzunömürlüyü hazırlanan iynənin itiliyindən bilavasitə asılı olur. İynənin mexaniki itilənməsi zamanı emissiya gərginliyi yüksək

olduğu üçün onun daha da iti olmasına zərurət yaranır. Bunun üçün də kimyəvi üsul vasitəsilə iynələrin itilənməsi yerinə yetirilir.

İtilənmə prosesi tam yerinə yetdikdən sonra iynəyə mikroskop vasitəsilə baxılır. Şəkil 1-də qızılın evtektik ərintisi ilə islanmış volfram iynə təsvir edilmişdir. Məlumdur ki, qızılın ərimə temperaturunda (1063°C) doymuş buxarın təzyiqi kifayət qədər böyük olur. Belə halda qaz boşalması əmələ gəlir və ionların stabil emissiyası alınmır. Buna görə də qızılın evtektik ərintisindən istifadə olunur. Məsələn, 88% Au və 12% Ge tərkibli ərintinin ərimə temperaturu 361°C təşkil edir. Təcrübələr üçün belə işçi maddə laboratoriya şəraitində sintez edilmişdir. Mənbənin iynəsinin ərimiş maddə ilə islanması ən vacib şərtlərdən biridir. Volfram iynənin maye ərinti ilə islanması üçün xüsusi texnoloji əməliyyat işlənmişdir. İynə dar qrafit qayıqcığa yerləşdirilir və iynənin iti hissəsinin üzərinə işçi maddənin tozu səpilir. Qayıqcıq qrafit qapaqla bağlanılır və vakuüm şəraitində maddə əriyə qədər qızdırılır. Belə qaydada ucu islanmış iynə sobaya yerləşdirilir və ora işçi maddə əlavə edilir.

Burada eyni zamanda plazmaoptik sistemlər haqqında məlumat verilmiş, dəstələrin həcm yükü potensialının başlanğıc paylanmasının təhrif olunmaması üçün bəzi hallarda adi optik sistemlərin yetərli olmadığı və buna görə də ion-optik sistemlərə zərurət yarandığı vurğulanmışdır. Güclü cərəyanlı dəstələrin fokuslandırılması zamanı plazmaoptik üsulun üstünlüyü əsaslandırılmış, kvazineytral dəstənin həcmində elektromaqnit sahələrin köməyi ilə fokuslandırılmanın xüsusiyyətləri araşdırılmışdır.

Üçüncü fəsildə dəstənin tərkibində olan sürətli ionların yüklü nanozərrəciklərlə toqquşması zamanı baş verən enerji itkiləri araşdırılmışdır. Nüvə itkiləri, elektron itkiləri, yüklü nanodamcıların generasiyası zamanı baş verən enerji itkiləri kimi mövzular geniş şərh edilmişdir. Yüklü nanodamcıların generasiyası zamanı baş verən enerji itkilərini araşdırmaq məqsədi ilə ion dəstə cərəyanının müxtəlif qiymətlərində kollektor dövrəsində qeyd olunan cərəyanın analizatorun köynəkləri arasına verilən elektrik sahəsinin qiymətindən asılılığı araşdırılmış, ölçmələrin qrafik təsvirləri verilmişdir. Dəstənin oxundan kənarında hərəkət edən ionların enerji

itkisinə məruz qalmamasının və yaxud da dəstənin mərkəzində hərəkət edən ionların enerjisinin azalmasının onların sistemin oxu boyunca yayılması zamanı yüklənmiş nanodamcılarla qarşılıqlı təsirdə olması səbəbindən baş verdiyi izah olunmuşdur.

Yüklənmiş nanodamcıların (In, Sn, Au, Ge) generasiyası rejimində işləyən maye metal mənbəyində oxa yaxın ionların enerji itkiləri və dəstənin mərkəzində ion cərəyanının azalması müşahidə edilmişdir. Eksperimentlərdə, ölçüsü 2–20 nanometr və xarakteristik xüsusi yükü 5×10^4 Kl/kg olan nanodamcılar aşkar edilmişdir. İonların enerji spektrləri, eninə statik elektromaqnit sahələri olan sürət filtri (süzgəci) vasitəsilə müəyyən edilmişdir. Aparılan ölçmələrin şəraiti daxilində In^+ ionlarının enerjisinin 4% azalması müşahidə edilmişdir. Nanohissəciklərin axını, ion dəstəsindən fərqli olaraq, kiçik radial dağılmaya malikdir; bu axının xaricində ionların sürətində dəyişmə müşahidə olunmamışdır. İonları enerji itkiləri onların kiçik nanohissəciklərin arasından uçub keçməsi zamanı baş verir. Maye indiumda sürətlənmiş ionların nüfuzetmə dərinliyi Lindhard-Scharff-Schiott modeli çərçivəsində qiymətləndirilmişdir. Komponentlər arasında oxşar qarşılıqlı təsirlər, müxtəlif yüklü hissəciklərin nisbi hərəkətinin mövcud olduğu mürəkkəb tərkibli ion-dəstə sistemlərində baş verir.

Sürətlənmiş ionların enerji itkiləri, məsələn, ion dəstələrinin plazma və bərk cismin səthi ilə qarşılıqlı təsiri zamanı baş verir. Plazma halında enerji itkilərinin təyini üçün Kulon toqquşmaları modelindən istifadə olunur. Bu hesablamaların nəticələri eksperimental nəticələrlə yaxşı uzlaşır. Sürətlənmiş ionların kondensə olunmuş maddənin içərisindən keçməsi zamanı onların elektronlarla qeyri-elastik və atomların nüvələri ilə elastik toqquşmalarına baxılır. İonun enerjisi kiçik olduqda, onların tam dayanmasına qədər maddəyə nüfuzetmə dərinliyi əsasən nüvələrlə qarşılıqlı təsiri müəyyən olunur. İonların paylama funksiyasının təkamülü həmçinin hissəciklərin konsentrasiyası yüksək olan dəstənin içərisində də baş verir. İon enerjisinin eninə səpilməsi flüktuasiya edən elektrik sahələrinin təsiri altında böyüyür və nəticədə dəstənin parlaqlığı azalır.

Toqquşmalar həmçinin dəstənin müxtəlif fraqmentləri arasında, onların nisbi hərəkəti zamanı da baş verə bilər. Oxşar vəziyyət mürəkkəb tərkibli ion dəstələrinin ayrılması zamanı müxtəlif növ kütlə-analizatorlarına da aiddir. Bu işdə maye metal ion mənbəyində ionların enerji itkilərinə baxılır. Müəyyən şəraitdə belə mənbələrdə ionlar və yüklənmiş nanodamcılar əmələ gəlir ki, onlar bərk cismin səthinə çökdürülə bilər. Bu, müxtəlif kvant strukturlarının formalaşdırılması üçün maraq kəsb edir.

Dəstələri yaratmaq üçün konteyner tipli kompakt ion mənbəyindən istifadə edilmişdir. İşçi maddə (Sn, In, Au, Ge, BNiAl evtektikası) isladılmış iynə (W, Fe, Ni) ilə birlikdə, işçi maddənin ərimə temperaturuna qədər elektronlarla bombardman edilməklə arxa tərəfindən qızdırılan qrafit konteynerə yerləşirilmişdir. İonları sürətləndirən gərginlik birbaşa iynə ilə ekstraktor arasında, yəni məhdudlaşdırıcı müqavimətdən sonra ölçülmüşdür. Dəstənin tərkibi və ionların enerji spektrləri kəşif sahələri olan analizator vasitəsilə (məsələn, Vine'nin sürətlərin süzgeci ilə) təyin edilmişdir. Kütlə analizatorunu iki kəsişmə koordinatında dəstənin oxuna nəzərən, vakuumu pozmadan mikrometrik vintlər vasitəsilə hərəkət etdirmək olar. Dəstə cərəyanının ossilyasiya spektri tezlik diapazonu 60 MHz-a qədər olan S4-25 analizatoru vasitəsilə qeydə alınmışdır. İon cərəyanının dəstənin radiusunda paylanması kiçik ölçülü çox kanallı zondun köməyi ilə təyin olunmuşdur. Ölçmə sistemi standart cihazların köməyi ilə kalibrlənmiş və fiziki ölçmələr statistik məlumatların toplanması üçün təkrarlanmışdır.

Eksperimental sistem 5×10^{-6} Torr son vakuumu təmin edən A700-Q Leybold-Heraeus vakuum qurğusu əsasında yığılmışdır.

Məlumdur ki, kiçik ion cərəyanlarında maye metal ion mənbələrindən emissiya sabitdir. Dəstənin müəyyən astana cərəyanında (təxminən 40 μ A), yüksək tezlikli ossilyasiyalar yaranır və bu, ölçüləri 2-20 nanometr və xüsusi yükü $q/m = 5 \times 10^4$ Kl/kq (In, Sn) olan yüklənmiş nanodamcıların əmələ gəlməsi ilə müşahidə olunur. Nanodamcıların ölçülərə görə paylanması azalan eksponensial funksiyanın azalması ilə təsvir olunur; minimal ölçülü hissəciklərin miqdarı, maksimal ölçülü hissəciklərin miqdarından 3

tərtib artıqdır. Hesablamalar göstərir ki, 16 nanodamcı atomu üçün orta hesabla bir elementar yük tələb olunur.

Dəstə cərəyanının ossilyasiyaları, səthində durğun dalğalar sistemi qurulmuş Teylor konusunun kapilyar qeyri-stabilliyinin yaranması ilə əlaqədardır. Ossilyasiyaların spektrinin diskret forması bununla bağlıdır. Eksperimentlərdə aşkar olunmuşdur ki, emitter qeyri-stabilliyinin yaranması zamanı dəstənin mərkəzində ion cərəyanının sıxlığı dəstənin periferiyasına (ətrafına) nisbətən bir qədər azalır.

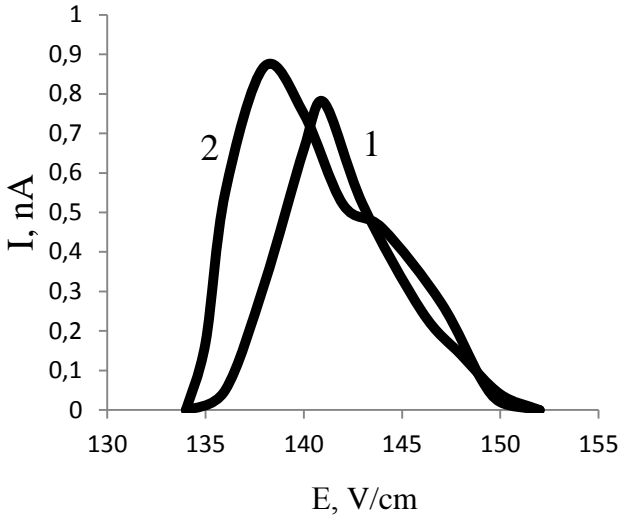
İon dəstə cərəyanının müxtəlif qiymətlərində kollektor dövrəsində qeyd olunan cərəyanın analizatorun köynəkləri arasına verilən elektrik sahəsinin qiymətindən asılılığı ölçülmüşdür.

Diametri 0,5mm Ni məftildən mexaniki üsulla hazırlanmış iynə otaq şəraitində İn ilə isladıldı, sonra işçi maddə ilə birlikdə grafit butanın içinə qoyularaq konteynerə bərkidildi. Konteyner A700Q tipli vakuum qurğusuna yerləşdirildi. Bundan sonra dəstənin tərkibinin araşdırılması məqsədi ilə analizator ikikoordinat üzrə mexaniki üsulla kameranın xaricindən hərəkət etdirilə bilən masanın üzərinə qoyuldu. Analizatorun girişindəki yarığın eni 50 μm təyin edildi. Vakuum qurğusu işə salındı və kamerada 2×10^{-5} mBar təzyiq olduqda eksperiment aparıldı. İlk öncə iynənin qızdırılması üçün volfram katoda $I_{\text{katod}}=20\text{A}$ cərəyan verildi.

Təxminən 5 dəqiqədən sonra emissiya alınması üçün iynə və ekstraktor arasına $U=6\text{kV}$ gərginlik verildi və bu zaman dəstə cərəyanı $I_{\text{dəstə}}=30\mu\text{A}$ oldu. Bu şəraitdə analizatorun köynəkləri arasındakı gərginliyin müxtəlif qiymətlərində kollektor dövrəsindəki cərəyan ölçüldü. Sonra yenidən iynə və ekstraktor arasına $U=6,2\text{kV}$ gərginlik verildi, bu zaman dəstə cərəyanı $I_{\text{dəstə}}=50\mu\text{A}$ oldu və analizatorun köynəkləri arasındakı gərginliyin müxtəlif qiymətlərində kollektor dövrəsindəki cərəyan ölçüldü.

Beləliklə, eksperimentin şəraiti saxlanılmaqla ionların təkrar olunan enerji spektrləri dəstənin mərkəzində və onun oxundan kənardə ölçülmüşdür. Sonuncu, kütlə analizatorunu dəstənin oxu boyunca hərəkət etdirməklə alınmışdır. Spektr iki rejimdə alınmışdır: nanohissəciklərin yaranması olmadan və olmaqla

(müvafiq olaraq, əyri 1, $I_b = 30 \mu\text{A}$ və əyri 2, $I_b = 50 \mu\text{A}$). Analizator da elektrik sahəsinin intensivliyi $140,5 \text{ V/cm}$ enerjisi 6 keV olan ionlara uyğundur (Şəkil 2).



Şəkil 2. Dəstənin mərkəzində analizatordan keçən ion cərəyanının elektrik sahəsinin intensivliyindən asılılığı
 I_{n1}^+ : 1 – $I_b = 30 \mu\text{A}$, $U = 6 \text{ kV}$; 2 – $I_b = 50 \mu\text{A}$, $U = 6.2 \text{ kV}$.

Göründüyü kimi, nanohissəciklərin yaranması ilə dəstənin mərkəzində spektrin maksimumu 250 eV -da kiçik enerjilərə doğru sürüşür, dəstənin oxundan kənarında isə maksimum böyük enerjilərə doğru sürüşür. Sonuncu göstərir ki, dəstə cərəyanının artması üçün U_b çıxarma gərginliyini artırmaq lazımdır. Məlumdur ki, maye metal ion mənbələrindəki yüklü nanohissəciklər yalnız $3-4^\circ$ arasında dağılma bucağına malik dəstə şəklində yayılır (ion dəstəsinin dağılması 90° -yə qədərdir). Dəstənin oxundan kənarında hərəkət edən ionların gecikməməsi göstərir ki, ionların enerjisinin azalması onların sistemin oxu boyunca yayılması zaman yüklənmiş

nanodamcılarla qarşılıqlı təsirdə olması səbəbindən baş verir. İonların və nanodamcılarının nisbi sürəti 0,75 v_i -ə bərabərdir, burada v_i – bizim eksperimentlərimizin şəraitində ionların sürətidir. İonların nanodamcılarla qarşılıqlı təsirdə olması iynə ilə kütlə analizatorunun girişində (təxminən 10 mm məsafədə) baş verir. Daha sonra analizatorun maqnit sahəsi dəstənin müxtəlif komponentlərini ayırır.

İonların sahə emissiyasında, yayılan maye şırnağının Reley qeyri-stabilliyi meydana çıxır və bu, nanodamcılarının ayrılması ilə başa çatır. Qeyri-stabilliyin inkişaf müddəti

$$t = \frac{1}{2\gamma_m} \left(\ln \frac{\sigma}{Tk_{min}} + 2 \ln \frac{vk_{min}^2}{\gamma_m} \right) \quad (1)$$

ifadəsi ilə müəyyən olunur, burada σ - səthi gərilmə əmsalındır; γ_m - xətti nəzəriyyənin maksimum inkrementi; T - mayenin temperaturu; k_{min} - inkrementin maksimumuna uyğun dalğa ədədi; v - kinematik özlülük əmsalındır. Bu düstura əsasən pozulma müddətinin hesablamaları təxminən $t = 10^{-10}$ s qiymətini verir. Bu müddət ərzində erkən formalaşmış nanohissəcik 2,45 μm məsafəni qət edəcəkdir. Onda, analizatorun girişinə qədər uçuş zamanı ionun səpildiyi axında nanohissəciklərin ümumi sayı üçün, biz radiusu 130 μm və hündürlüyü 10 mm olan silindrdə təxminən $N = 10^4$ hissəcik qiymətini alacağıq.

Kondensasiya olunmuş maddədə sürətlənmiş ionların nüfuz etmə dərinliyi atomların elektronları və nüvələri ilə Kulon toqquşmaları nəzəriyyəsində nəzərdən keçirilir. Aşağı ionların enerjisi kiçik olduqda onların dayanması nüvələrlə elastik qarşılıqlı təsirlə müəyyən edilir və maddədə nüfuz etmə dərinliyi

$$R_n = 2kE_0 \quad (2)$$

ifadəsindən hesablanır.

Burada

$$k = \frac{1,8(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}{NZ_1Z_2} \frac{M_1 + M_2}{M_2} \text{ nm (eV)}^{-1}$$

Z_1, M_1 və Z_2, M_2 müvafiq olaraq maddənin ilkin ionunun və atomlarının nüvə ədədləri; N isə atomların konsentrasiyasıdır, nm^{-3} . Hər iki nanohissəcik üçün nisbi sürətə $v_i - v_{np}$ və $N = 34,1 \text{ nm}^{-3}$ -ə uyğun $E_0 = 3,38 \text{ keV}$ -də maye indium üçün (2) ifadəsi $R_n = 1,54 \text{ nm}$ qiymətini verir. Ionların nüfuzetmə dərinliyi nanodamcıların müşahidə olunan minimal $d_{np} = 2 \text{ nm}$ ölçüsündən kiçikdir, buna görə də ionlar bütün enerjini itirməlidir. Amma, nəzərə almaq lazımdır ki, ionun damcının diametri boyunca uçuş ehtimalı, bütün daha qısa hissələr boyunca nisbətən çox-çox kiçikdir.

Məlumdur ki, 30 atomu özündə birləşdirən yüklənmiş nanodamcılar və klasterlər maye metal mənbələrində intensiv şəkildə əmələ gəlir. Belə klasterlərin ölçüsü (təxminən 1 nanometr) bizim şəraitimizdə ionlar üçün hesablanan nüfuzetmə dərinliyindən $R_n = 1,54 \text{ nm}$ kiçikdir. Çox güman ki, istifadə etdiyimiz Tesla elektron mikroskopunun ayırmaq qabiliyyəti belə kiçik hissəcikləri müşahidə etmək üçün kifayət etməmişdir. Beləliklə, ionlar kiçik nanodamcılardan keçərkən enerjinin bir hissəsini itirir və onları ilkin istiqamətdə tərk edirlər.

Nanodamcıdan keçən sürətli ionun yüklənmiş vəziyyətinə ayrıca baxış tələb olunur. Dəstənin oxu boyunca yayılan sürətli neytral atomların axınının müşahidə olunduğu təcrübələr məlumdur. Bu atomların enerji spektri kifayət qədər genişdir. Təbii ki, ionların bir hissəsinin kiçik nanodamcıların içərisindən uçub keçərkən neytrallaşmasını güman etmək olar.

Şəkil 2-dən (2 əyrisi) görünür ki, ionların kifayət qədər yüksək enerjiyə malik olan bir hissəsi mövcuddur. Çox güman ki, bu ionlar qrupu nanohissəcik dəstəsinin xaricində yayılıb və onunla qarşılıqlı təsirdə olmayıb. Enerji spektrində pikin oxşar forması iki atomlu ionlar üçün də müşahidə olunur ki, bu da onların biratomlu ionlarla yanaşı göstərilən proseslərdə iştirak etdiklərini göstərir.

Nanodamcılarla toqquşma nəticəsində oxa yaxın ionlarının bir hissəsinin udulması və onların öz yükünü itirməsi dəstənin mərkəzində cərəyanın azalmasını təsdiqləyir.

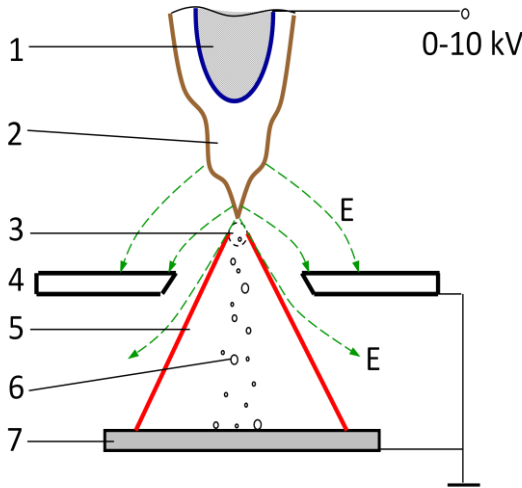
Dördüncü fəsildə səth quruluşlarının yaradılması üçün nanodamcıların çökdürülməsi proseslərinə baxılmışdır. Müxtəlif gərginliklərdə, emissiya cərəyanının müxtəlif qiymətlərində və pyezo masanın hərəkət sürətinin müxtəlif qiymətlərində volfram, silisium, mis, molibden lövhələr üzərinə In nanodamcılarının çökdürülməsi prosesi araşdırılmış, alınmış nümunələrin şəkilləri verilmiş və izah olunmuşdur.

Mənbənin müəyyən rejimində ionlar (In, Sn, Au, Ge) və nanodamcılar eyni zamanda generasiya olunur. Nanodamcılarının generasiyası maye emitterin üzərində kapilyar dayanaqsızlığın həyacanlanması ilə müşahidə edilir və bu ion cərəyanının modulyasiyasına gətirib çıxarır.

Dar zolaqların çökdürülməsi mürəkkəb ion optikasız əldə oluna bilər, çünki nanodamcılar dəstəsi 2^0 -yə qədər çox kiçik ayrılma bucağına malikdir. Eninə hərəkətli oturmaq mənbənin iynəsindən yaxın məsafədə yerləşdirilibsə, çökdürülmüş zolaq alınacaq. Oturmaq iynədən yüzlərlə mikron məsafədə olduqda və MS 2000 piezo masanın vasitəsilə iynəyə nəzərən eninə hərəkət etdiriləndə, 20 mkm enində indium zolaqları çökdürülmüşdür. Daha dar zolaqların alınması üçün oturmaq daha yaxın məsafədə yerləşdirilməli və qızdırılan sahədən istiliyin aparılması təmin olunmalıdır ki, soyudulan səthdə nanodamcılarının sürətli kondensasiyası onların bir-birinə yapışmamış şəkildə baş tutsun.

Bildiyimiz kimi səth üzərində müxtəlif kiçikölçülü quruluşların yaradılması üçün müxtəlif texnologiyalardan istifadə edilir. Quruluşların alınması adətən bir neçə mərhələdən ibarətdir və buna görə kifayət qədər zaman tələb edir. Müəyyən üsulla hazırlanmış nanohissəciklərin birbaşa səthdə yerləşdirilməsi texnologiyası sadələşdirir. Bunun üçün maye metal ion mənbədən istifadə edilməsi mümkündür. Belə mənbələr uzun müddətdir ki tədqiq edilir. Aparılmış nəzəri və təcrübə tədqiqatları göstərmişdir ki, elektrik sahəli emissiya ən yüksək başlangıç cərəyan sıxlığına və parlaqlığa

malikdir. Bunlar onunla bağlıdır ki, ionların emissiya zonası çox kiçik ölçülərə (~5 nm) malikdir. Maye səthin itiləşməsi aşağıdakı kimi alınır. Mənbənin emitteri-iyənəsi çətin əriyən metaldan hazırlanır. Onun iti ucunun radiusu bir neçə mkm təşkil edir. Ərimə temperaturu nəsbətən aşağı olan işçi maddə (təmiz metallar, onların birləşmələri, yarımkeçiricilər) arkada yerləşən konteynerdədir. Konteyner və iynə ixtiyarı üsulla işçi maddənin ərimə temperaturuna qədər qızdırılır və maye iynəni isladır (bunun üçün işçi maddəyə iynənin materialı uyğun seçilməlidir).



Şəkil 3. Maye metal ion mənbədə emissiya hadisəsi:
1-iyənə; 2-Teylor maye konusu; 3-ışığılanan oblast; 4-ekstraktor;
4-ion dəstəsi; 6- nanodamcılar; 7-kollektor.

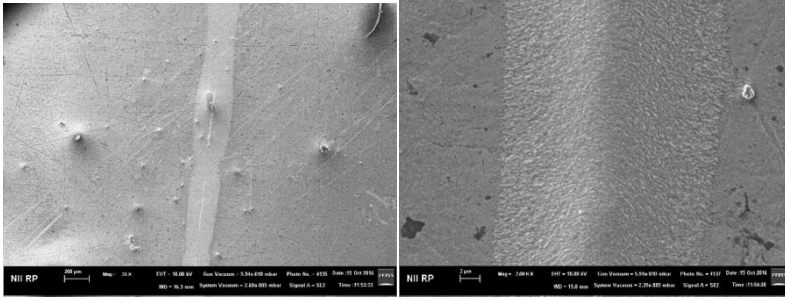
Ekstraktor və iynə arasında bir neçə kilovoltlu gərginlik veriləndə iynənin ucundakı maye uzanır və kiçik ölçülü itiuclu çıxıntı əmələ gəlir. Müəyyən hədd gərginliyində tunel keçidi nəticəsində ionlar mayedən birbaşa vakuuma çıxırlar (sahəli emissiya) və elektrik sahəsində sürətlənilər. Gərginlik artırılarda ion cərəyanı da

artır və maye çıxıntı daha da uzanır. Cərəyanın müəyyən qiymətində (40 mKA Sn, In) elektrik sahəsinin təzyiqi mayenin səth gərilmə təzyiqini aşır və emissiya oblastından yüklü nanodamcıları qopardır (Şəkil3).

Nanodamcıların dar dəstə şəklində yayılması səth üzərində ensiz zolaqların çökdürülməsində tətbiq oluna bilər. Bunun üçün mürəkkəb ion optikasından istifadə vacib deyil. Müstəvi keçirici oturacaq iynədən çox yaxın məsafədə yerləşdirilərsə, onun üfuqi hərəkətində səthdə emissiya zamanı dar zolaq əmələ gəlir. Oturacağı üç istiqamətdə böyük dəqiqliklə hərəkətləndirmək üçün MS 2000 markalı (ABŞ) piezo masadan istifadə edilmişdir. İon mənbəyi və piezomasa vakuum kamerasında yerləşir, işçi vakuum $5 \cdot 10^{-6}$ Torr təşkil edirdi. İynə və oturacaq arasındakı aralıq kiçik olduqda işçi gərginlik də müəyyən dərəcədə aşağı olur. Nəzərə almaq lazımdır ki, oturacağı yaxınlaşdıranda ion cərəyan sıxlığı artacaq və oturacaq xeyli qızacaq. İynə və oturacaq arasında kiçik məsafədə elektrik boşalmaların ehtimalını gözləmək olardı, lakin bütün hallarda aralığın yüksək elektrik stabilliyi müşahidə edilirdi.

Təcrübələrdə indium nanodamcıları cilalanmış W lövhələri üzərinə çökdürülmüşdür. Diametri 0,5mm olan Ni məftildən kimyəvi üsulla hazırlanmış iynə otaq şəraitində İn ilə isladıldı, sonra işçi maddə ilə birlikdə qrafit butanın içinə qoyularaq konteynerə bərkidildi. Konteyner A700Q tipli vakuum qurğusuna yerləşdirildi. Sonra cilalanmış volfram lövhə pyezo masanın üzərində əvvəlcədən ftoroplast-4 materialından hazırlanmış borunun üzərinə bərkidilərək iynədən 2mm məsafədə yerləşdirildi. Pyezomasanın hərəkət istiqamətləri təyin edildikdən sonra kameranın qapısı bağlandı və 2×10^{-5} mbar təzyiqdə təcrübə aparıldı. İynənin qızdırılması üçün volfram katoda müəyyən sürətlə artırılaraq $I_{\text{katod}}=20\text{A}$ cərəyan verildi. Təxminən 5 dəqiqədən sonra emissiya alınması üçün iynə və volfram altlıq arasına $U=4,5\text{kV}$ gərginlik verildi və bu zaman dəstə cərəyanı $I_{\text{dəstə}}=50\mu\text{A}$ oldu. Cərəyan alınan andan etibarən pyezo masa 0,5 mm/san sürətlə 10mm hərəkət etdirilməyə başladı və volfram lövhə üzərində kiçik ölçülü xətt alındı.

Şəkildə eni təxminən 200 mkm olan geniş zolaq görünür, bu zolaq ionların izidir. Onun mərkəzində dar xətt aydın seçilir. Bu xətt nanodamcılardan ibarətdir, onun eni 20 mkm, uzunluğu isə 1 mm tərtibdədir (Şəkil 4). Mikroskopun daha böyük böyütməsində bu zolağın xırda dispersli quruluşu baxılarkən müşahidə edilmişdir ki, uzunsov dənələrin ölçüləri 100-200 nm təşkil edir, yəni generasiya olunan damcılardan ibarət gözə çarpan dərəcədə böyükdür.



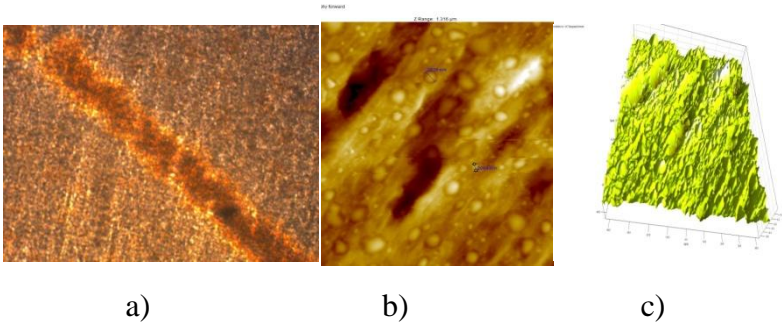
a)

b)

**Şəkil 4. a) W lövhənin üzərində çökdürülmüş zolaq,
 $I_{d\text{əstə}}=50\mu\text{A}, U=4,5\text{kV}, v=0,5\text{ mm/san.},$
 b) nanodamcılar zolağı**

Volfram lövhələrlə yanaşı, eyni zamanda silisium, mis, molibden lövhələr üzərinə də zolaqlar çökdürülmüşdür. Cilalanmış mis lövhələr üzərində alınan kiçikölçülü zolaqları araşdıran zaman dəstə cərəyanının təsirindən altılıqda ərimə hallarının olduğu müşahidə edildiyi üçün ərimə temperaturu daha yüksək olan Mo lövhələrdən istifadə etmək qərara alındı. Öncə lövhələr $2 \times 50 \times 70 \text{ mm}$ ölçüsündə kəsilərək cilalandıqdan sonra mis radiatorun üstünə bərkidildi, sonra pyezomasanın üzərində olan ftoroplast borunun üzərində ftoroplast materialdan hazırlanmış xüsusi yerə qoyuldu, iynə və lövhə arasındakı məsafə ilkin olaraq 1mm təyin olundu, masanın hərəkət istiqaməti təyin olunduqdan sonra kameranın qapısı bağlandı və forvakuum nasosu işə salındı. Kamerada $2 \times 10^{-5} \text{ mBar}$ təzyiq

olduqda eksperiment aparıldı. İynənin qızdırılması üçün volfram katoda müəyyən sürətlə artırılaraq $I_{\text{katod}}=20\text{A}$ cərəyan verildi. Təxminən 5 dəqiqədən sonra emissiya alınması üçün iynə və molibden altlıq arasına $U=500\text{V}$ gərginlik verildi. Sonra altlıq iynəyə yaxınlaşdırılmağa başladı, müəyyən qədər yaxınlaşmadan sonra emissiya alındı və bu zaman dəstə cərəyanı $I_{\text{dəstə}}=40\div 50\mu\text{A}$ oldu. Cərəyan alınan andan etibarən pyezo masa $0,1\text{ mm/san}$ sürətlə 10mm hərəkət etdirilməyə başladı və Mo lövhə üzərində kiçik ölçülü zolaq alındı (Şəkil 5).



Şəkil 5. a)Mo lövhənin üzərində çökdürülmüş zolaq,

b)dispers quruluşu; c) üçölçülü AQM fotosəkili.

$I_{\text{dəstə}}=40\div 50\mu\text{A}$, $U= 500\text{V}$, $v = 0,1\text{ mm/san}$.

Bəşinci fəsildə ağır ionlar dəstəsinin fokuslandırılması zamanı plazma linzasında fəza yükünün formalaşması proseslərinə baxılmışdır. İmpulsu dəstələr üçün linzada elektrik sahəsinin formalaşma müddəti təyin olunmuş və hesablanmışdır.

Plazma linzasının vasitəsilə impulsu ion dəstələrinin fokuslandırılmasında aşkar olmuşdur ki, linzanın daxilində elektrik sahəsinin əmələ gəlməsi üçün müəyyən müddət zəruridir. Elektrik sahəsinin yaranmasından əvvəl linzada müəyyən sayda elektronlar toplanmalıdır ki, maqnit qüvvə xətləri ekvipotensial olsun. Qeyd edilməlidir ki, teldən elektronların emissiyası olmayanda (soyuq tel)

linzada elektrostatik sahəsi elektrodların vasitəsilə yaradılır, lakin elektronlar yoxdur və maqnit qüvvə xətləri ekvipotensial deyil.

Maye metal ion mənbəyində əmələ gələn yüklü nanohissəciklərinin axınını plazma linzasının vasitəsilə də fokuslandırmaq mümkündür. Effektiv ion-optik sistemi olan plazma linzası nanohissəcikləri fokuslandıraraq səth üzərində müxtəlif quruluşların yaradılmasına imkan verir. Burada qeyd edilməlidir ki, deyilən prosesdə ion dəstəsi nanohissəciklərin axınından ayrılmalıdır. Əks halda ion cərəyanı sıxlığının yüksək olduğundan fokusda nanohissəciklərin çökdürülmüş izi əriyəcək və deformasiyaya uğrayacaq. İonların ayrılmasını kütlə spektrometrin vasitəsilə yerinə yetirmək olar.

Linzanın həcmində elektronların toplanma müddəti ilkin yanaşmada aşağıdakı düsturdan təyin olunur:

$$\rho V = \dot{I} \tau \quad (3)$$

Burada ρ -fəza yükünün sıxlığı, V -linzanın həcmi, \dot{I} -təldən çıxan cərəyan şiddəti, τ -toplanma müddəti. Hesab edirik ki, linzanın daxilində elektron buludu silindr şəklindədir. Lakin həqiqətdə bu belə deyil.

Linzada elektronların fəza yükünün sıxlığı silindrik koordinatlarda Puasson tənliyindən təyin olunur

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (4)$$

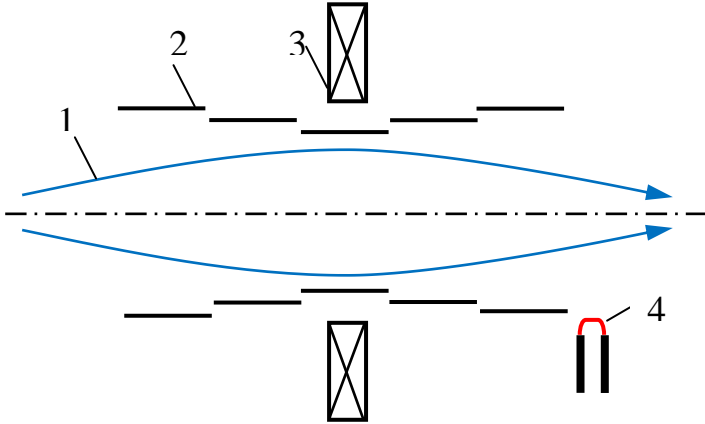
Burada r -radial koordinat, U -baxılan nöqtənin potensialı, ρ -fəza yükün sıxlığı, ε -elektrik sabiti.

İntegrallamadan sonra (fəza yükünü sabit hesab edirik) alarıq

$$\rho = \frac{2\varepsilon E}{r} \quad (5)$$

Burada $E = \frac{\partial U}{\partial r}$ – elektrik sahəsinin intensivliyidir. Məhz elektronların sabit sıxlığında elektrik sahəsinin intensivliyi radiusla düz

mütanasibdir (yaxud elektrik potensialı radiusun kvadratından asılıdır). Belə asılılıq ideal optikaya uyğundur və adətən təcrübi plazma linzalarında realizə olunur.



**Şəkil 6. Kompensatoru közərən tel olan plazma linzasının sxemi:
1-ion dəstəsi, 2-linzanın elektrodları, 3-maqnit sarğısı, 4-kompensator.**

Teldən çıxan elektronların cərəyan şiddəti sadə halda müstəvi diodda axan cərəyan şiddətidir.

$$I = \frac{4\varepsilon}{9} \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{U^{\frac{3}{2}}}{d^2} S \quad (6)$$

Burada e/m – elektronun xüsusi yükü, U –közərən telə ən yaxın yerləşən elektroda verilən gərginlik, d -tel və elektrod arasındakı məsafə, S -telin emissiyalı oblastın effektiv sahəsidir.

(6) tənliyində göstərilmiş düsturlardan istifadə edərək toplanma müddəti üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\tau = \frac{9\pi r l d^2 E}{2 \sqrt{2 \frac{e}{m}} U^{3/2} S} \quad (7)$$

Burada l-linzanın uzunluğudur.

Bizim təcrübələrdə $r=2,5$ sm, $l=10$ sm, $d=0,5$ sm, $U=50$ V, $S=0,5$ mm². Belə şərtlərdə toplanma müddəti üçün aşağıdakı qiymət alınır: $\tau=29,8$ mks. Gətirilən sadə yanaşmada telin emissiya cərəyanı zamanla sabit hesab olunurdu. Lakin linzada fəza yükü əmələ gəldikcə emissiya cərəyanı azalacaq. Qeyd etmək lazımdır ki, soyuq kompensatorla aparılmış təcrübələrdə impulsu dəstənin fokuslanmasının ləngimə müddəti də 20-30 mks təşkil edir.

NƏTİCƏ

1. Qızıl ionlar dəstəsinin alınması üçün maye metal ion mənbənin itiuclu emitterin hazırlanma və vakuum şəraitində işlədilmə texnologiyası işlənmişdir və nəticədə qızıl ionların stabil emissiyası təmin edilmişdir.

2. Maye metal ion mənbəyində dəstənin mərkəzi sahəsində olan ionların enerji itkisi qeyd edilmişdir (250 eV, ionların 6 keV tam enerjisində) və hadisə onların yüklü nanodamcıların daxilindən keçməsi kimi izah olunmuşdur.

3. Sürətli ionların maddədə qaçış yolu Lindhart-Sharf-Shiott modeli əsasında qiymətləndirilmişdir. Maye indium üçün nüfuzetmə dərinliyinin $R_n = 1,54$ nm olduğu hesablanmışdır.

4. Yüklü nanozərrəciklərin emissiya nöqtəsindən yaxın məsafədə (50 mkm) yerləşən hərəkətli və keçirici oturağa eni mikrometr miqyasında olan zolaqların çökdürülməsi əldə olunmuşdur. Daha yaxın məsafədə ion cərəyanının yüksək sıxlığından çökdürülmüş iz əriyir. Dar zolaqların çökdürülməsi üçün oturaq kifayət qədər soyudulmalıdır.

5. Nanohissəciklər dəstəsinin fokuslandırılması plazma linzasının vasitəsilə mümkündür. İmpulsu dəstələr üçün linzada elektrik sahəsinin formalaşma (termoemissiya hesabına elektronların toplanması) müddətinin təyin olunmuş qiyməti 30 mks təşkil edir.

Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər

1. Gasanov I.S., Gurbanov I.I., Akbarov E.M. Liquid metal ion source for nanotechnology operations // Int. Conf. “Materials science and informatics for high technologies”, -Baku, -2012. – p. 9.
2. Гасанов И.С. Спектры энергий ионов при неустойчивости эмиттера в жидкометаллическом источнике / И.С.Гасанов, И.И.Гурбанов, Э.М. Акбаров // *Azərbaycan Fizika Jurnalı*, Bakı, Azərbaycan, -2013, -p. 122-125.
3. Gasanov I.S. Losses of ion energy in the multicomponent beam / I.S.Gasanov, I.I.Gurbanov, E.M. Akbarov // *The European Physical Journal D* 69,75, -2015. –p.1-3.
4. Gasanov I.S. Collisions of ions with charged nanodroplets in liquid metal source / I.S.Gasanov, I.I.Gurbanov, I.Nasibov and E.M. Akbarov // Abstract book of 9th International Symposium SHIM, Darmstadt, -2015. – p.1.
5. Əkbərov E.M. Qızıl ionları və nanozərrəciklərinin elektrik sahə emissiyası// *Doktorantların və Gənc Tədqiqatçıların XX Respublika Elmi Konfransının Materialları*, Bakı, - 2016. - p. 6-9.
6. Həsənov İ.S., Qurbanov İ.İ., Əkbərov E.M. Səth quruluşlarının yaradılması üçün nanodamcıların çökdürülməsi // “Metallurgiya və Materialşünaslığın Problemləri” Mövzusunda 2-ci Beynəlxalq Elmi-Texniki Konfrans, Bakı, - 2017. -p. 141-143.
7. Əkbərov E.M., Həsənov İ.S., Qurbanov İ.İ. Sahəli emissiya hadisəsində nanoölçülü fazanın xassələri // *Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya Problemləri” Beynəlxalq Elmi Konfransı*, Bakı, -2018. - p. 221-224.
8. Hasanov I. Ions passage through nanodroplets in a multicomponent beam / I.Hasanov, I.Gurbanov, E.Akbarov // *Acta Physica Polonica A.*, -2018. -vol. 134, №3, -p.119-121.

9. Gasanov I.S. Spase charge lenses for intensive ion beams formation / I.S.Gasanov, V.A.Orudjev, I.I.Gurbanov, and E.M.Akbarov // ACTA Physica Polonica A., -2019. -vol. 135, № 4, - p. 841-844.
10. Əkbərov E.M. Maye metal ion mənbələrinin anod iynələrinin hazırlanması // AMEA Xəbərləri, Bakı, -2019. -№5, -p.160-162.
11. Əkbərov E.M. Maye metal ion mənbələri vasitəsilə səth üzərində kiçik ölçülü quruluşların yaradılması // Azərbaycan Fizika Jurnalı, Bakı, -2019. -vol. XXV, №3, -p. 31-33.

Dissertasiyanın müdafiəsi 23 İyun 2021-ci il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED1.14 Dissertasiya şurasının bazasında yaradılmış BED1.14 Birdəfəlik dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az-1143, Bakı şəh., H.Cavid pr. 131

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 21 may 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: _____

Kağızın formatı: A5

Həcm: 40123 işarə

Tiraj: 100