

Laboratoriya işi № 2.

Skanedici tunel mikroskopu vasitəsilə bərk cisim səthinin tədqiqi.

2.1. İşin məqsədi	39
2.2. İşin məzmunu	39
2.3. Metodik göstərişlər	52
2.4. Tapşırıq	52
2.5. Yoxlama sualları.....	57

2.1. İşin məqsədi

1. Skanedici tunel mikroskopu və spektroskopiyanın əsaslarının öyrənilməsi.
2. **NanoEducator** cihazında tunel cərəyan çeviricisinin iş prinsipinin öyrənilməsi və onun əsas parametrlərinin ölçülməsi.
3. Sabit tunel cərəyanı rejimində tədqiq olunan nümunənin səthinin topoqrafiyasının alınması.

Ləvazimat: Skanedici zond mikroskopu(Model SZMU-L5), zond, **NanoEducator** programı və kompüter.

Tədqiqat üçün nümunə: CD ROM diskinin səthi.

Tunel cərəyanı çeviricisinin əsas parametrlərinin ölçülməsi, STM şəkillərin alınması və təcrübənin nəticələrinin işlənməsi hər bir tələbə tərəfindən fərdi qaydada yerinə yetirilir. İşin praktik hissəsi bir dərstdə yerinə yetirilir və 4 saat davam edir.

İşə başlamazdan əvvəl tunel cərəyan çeviricisinin əsas parametrlərini ölçmək, hər tələbə üçün zond seçmək və cihazların birində tədqiq olunan nümunənin səthinin şəklini almaq lazımdır.

2.2. İşin məzmunu

Tunel cərəyan çeviricisinin əsas parametrlərinin təyini (tunel cərəyanını gərginliyə çevirmə əmsalı, ölçülən cərəyanın maksimal və minimal qiymətləri). Spektroskopiya(tunel cərəyanının tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı).

Sabit tunel cərəyanı rejimində tədqiq olunan nümunənin səthinin topoqrafiyasının alınması.

Skanedici tunel mikroskopiyanın və spektroskopiyanın əsasları

Skanedici tunel mikroskopu(STM) ilk skanedici zond mikroskopudur. Bu STM 1981-ci ildə Sürix şəhərində yerləşən IBM firmasının elmi tədqiqat laboratoriyasında Herd Binq və Henrix Rorer tərəfindən yaradılıb. Bu işə görə beş il keçdikdən sonra onlara fizika sahəsində Nobel mükafatı verilmişdir[4].

STM birinci vasitədir ki, silisiumun səthinin şəklini atom ölçüləri dəqiqliyində almağa imkan verdi.

STM əsasında kvant-mexaniki tunel effekti hadisəsi durur. Yəni zərrəciyin tam enerjisinin potensial çuxurun hündürlüyündən az olmasına baxmayaraq, onun potensial çəpəri aşması qabiliyyəti ilə izah olunur. Tunel effekti hissəciyin dalğa xassəsi ilə bağlıdır. Tunel effekti hadisəsini metalda sərbəst elektronların energetik vəziyyətləri modelinin köməyi ilə izah etmək olar. Bu model çərçivəsində keçirici naqıl daxilində elektron qazı sərbəst hesab olunur, elektronların enerjisi

$E = \frac{p^2}{2m}$ münasibəti ilə təyin olunur (burada p - elektronun impulsu, m -onun kütləsidir). Metalda mütləq sıfır temperaturda elektronun malik olduğu maksimal enerjini, Fermi (E_F) səviyyəsi adlandırırlar. Metalın bütün həcmi keçirici elektronlar üçün potensial çuxur hesab olunur.

Tunel cərəyanına əsas əlavələri E_F - səviyyələrinin yaxın səviyyələrdə yerləşən ən böyük enerjili elektronlar verə bilər. Metalın səthinə yaxın, yəni metal - vakuüm sərhədində keçirici elektronlar, potensial çuxurun səthinə yaxın yerdə olurlar, bu sərhəd elektronlar üçün potensial çuxur rolu oynayır, potensial çuxurun hündürlüyü φ -çıxış işi ilə təyin olunur.

Klassik təsəvvürlərə görə elektronun tam enerjisi (E) və potensial çəpərin (U) hündürlüyündən kiçik olan elektronun həmin çəpərdən keçə bilməsi elektronun xəyali

$P = \sqrt{2m(E - U)}$ impulsunun əmələ gəlməsini göstərir.

Kvant-mexaniki təsəvvürlərə görə elektronun fəzada vəziyyəti Şredinger tənliyinin həlli olan dalğa funksiyası ilə təyin olunur:

$\psi(z) \sim \exp\left(\frac{ipz}{\hbar}\right)$ burada z -metal səthinə normal istiqamətdə

koordinat, \hbar - Plank sabitidir. Onda elektronun xəyali impulsu metalın səthinə perpendikulyar istiqamətdə elektronun

eksponensial sönən aşağıdakı dalğa funksiyasını təyin edər:

$$\psi(z) \sim \exp\left(-\frac{pz}{h}\right) \quad (1)$$

Kvaziklassik yaxınlaşmada potensial çəpərin şəffaflığı ona düşən hissəciklərin keçmə ehtimal ilə təyin olunur. Potensial çəpərdən hissəciklərin keçmə ehtimalı keçən hissəciklərin sayının bura düşən ümumi hissəciklərin sayına olan nisbətidir. Mürəkkəb formalı divarlar üçün bu kəmiyyət aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{2}{h} \int_{z_1}^{z_2} \sqrt{2m(V(z) - E)} dz\right).$$

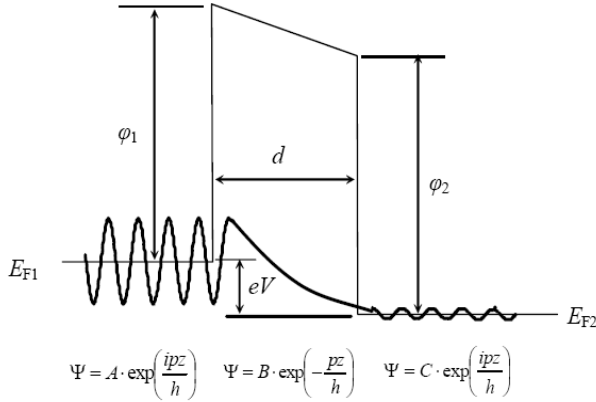
İki metal elə məsafəyə qədər yaxınlaşdırılır ki, bu məsafə potensial çəpərin enindən kiçik olmuş olsun və potensial çəpəri keçmiş elektronların (1) düsturu ilə təyin dalğa funksiyaları sönən olsun. Onda bu məsafədə metal-vakuum-metal tunel kontaktı yaranır (Şəkil 2-1).

Belə sistemdə xarici gərginliyin V -sürüşmə gərginliyi adlanan iki metal arasında olması tunel cərəyanının yaranmasına səbəb olur.

Əgər sürüşmə gərginliyi böyük deyilsə ($eV \ll \varphi$) onda I_T tunel cərəyanının qiyməti sistemə tətbiq olunan gərginliklə mütənəsibdir:

$$I_T = AVe^{-b\sqrt{\varphi}d} \quad (2)$$

burada d - iki metal arasındakı məsafə, A və b sabitlərdir. Bu münasibətdən alınan əsas nəticə tunel cərəyanının qiymətinin tunel çəpərin d enindən eksponensial xarakterli asılılığının olmasıdır. (2) asılılığının köməyi ilə tunel çəpərin eninin 1 \AA artması tunel cərəyanının qiymətinin bir tərtib qədər azalmasına səbəb olur.

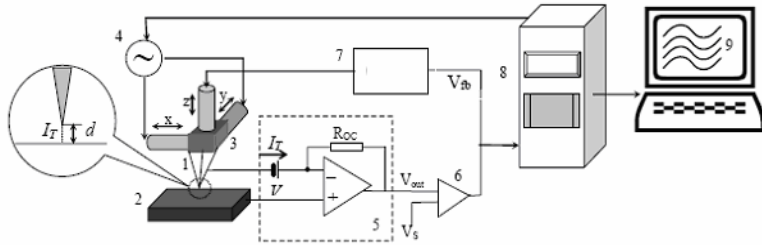


Şəkil 2-1. İki naqillli tunel kontaktında zona diaqramı və effektiv kütlə yaxınlaşmasında elektronların metalda və potensial çəpərdə sönən dalğa funksiyası

STM-də keçirici zond və nümunə arasında xarici gərginliyin olmasına görə elektronların tunelləşməsindən istifadə olunur; keçirici zond və nümunə səthi arasındakı məsafə tunel keçidinin eni adlanır.

STM-də zond kimi ucu elektrokimyəvi üsulla itilənmiş metal iynə istifadə olunur. Zondun ucunun əyrilik radiusu və onun mexaniki sərtliyi STM-in fəza imkanının (bir neçə anqstrom ola bilər) sərhədini təyin edir. Əgər düzünə və eninə istiqamətlərdə zondun iynəsinin mexaniki sərtliyi kifayət qədər kiçikdirsə, iynənin mexaniki, istilik və kvant fluktuasiyaları - STM imkanlarını xeyli zəiflətməmiş olar. Zond üçün material kimi adətən yüksək möhkəmliyi və kimyəvi davamlığı olan metal: volfram və ya platin istifadə olunur.

Zond və nümunə arasında gərginlik tətbiq olunur. Zondun ucu ilə nümunə arasında məsafə 10 \AA yaxın olduqda gərginliyin işarəsindən asılı olaraq nümunədən ayrılan elektronlar iynəyə və ya əksinə tunel edirlər. Nəticədə yaranmış tunel cərəyanı zond və nümunə aralıq məsafəsindən eksponensial asılı olaraq dəyişir və tunel sensorunda ölçülür (Şəkil 2-2).

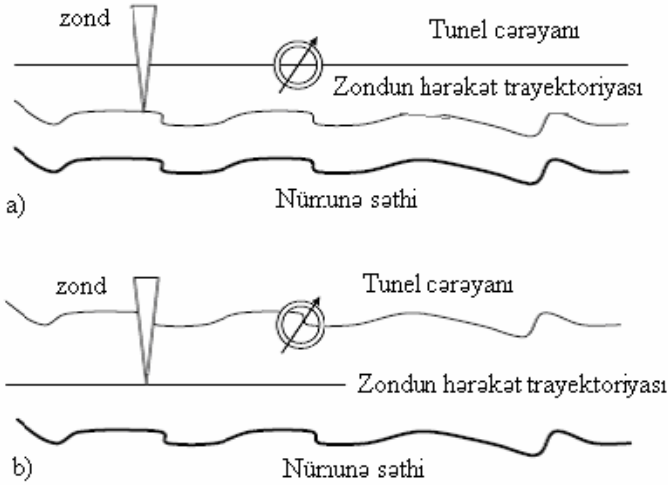


Şəkil 2-2. Skanedici tunel mikroskopun sxemi. 1-zond; 2-nümunə; 3-x,y və z pyezoelektrik mühərriklər; 4-x,y generatoru; 5-tunel sensoru; 6-komparator; 7-əks əlaqəli elektron dövrəsi; 8-kompüter; 9- z(x, y)-in şəkli

Sabit cərəyan rejimində zond və nümunə arasındakı tunel cərəyanının qiymətini, əks əlaqə sisteminin köməyi ilə zond nümunəyə yaxınlaşması və uzaqlaşması hesabına sabit saxlanılır. Səthin topoqrafiyasının şəklini almaq üçün siqnalı z-pyезogətirmə kanalından götürülür. Kifayət qədər kiçik ölçülü müstəvi səthlərin (atom-hamar səthlərin) tədqiqində istifadə olunan alternativ qeydiyyat üsulu böyük vaxt ərzində əks əlaqə sistemi skanetmə zamanı zondun ucu ilə nümunə səthi arasındakı məsafənin orta qiymətini sabit saxlayır (Şəkil 2-3b) və tunel cərəyanının sürətli dəyişməsi qeyd olunur (“cərəyanın xəyalı”). Bu üsul sistemin sürətli qeyd etməsindən maksimal istifadə olunmasına imkan verir və “real vaxt” ərzində şəkli almaq olar.

Tunel spektroskopiyası

Bərk cisim fizikasında elektronun hallarının spektroskopiyası üçün tunel effektindən geniş istifadə olunur. Bu üsulun əsasında tunel cərəyanının tunel kontaktını yaranad materiallarda Fermi səviyyəsindən (E_F) hesablanan 0-dan eV qədər enerjili halların sayından asılılığı durur (V-tunel aralığındakı gərginlikdir). Skanedici tunel mikroskopu səthin istənilən nöqtəsində zond-nümunə tunnel kontaktının **VAX** xarakteristikasını almağa imkan verir və nümunənin lokal elektrik xassəsini tədqiq etmək olar (yüksək fəza ayırd etməyə malik olmaqla tunel spektroskopiya ilə).



Şəkil 2-3. Sabit cərəyan rejimi (a) və sabit hündürlük rejimi (b).

Nümunə səthinin hər hansı r_0 nöqtəsində elektronların kvazikəsilməz spektr yaxınlaşmasında tunel cərəyanının ifadəsi aşağıdakı kimi təyin olunur[4]:

$$(r_0, V) \sim \int_0^{eV} dE \rho_T(E) \rho_S(r_0, E) D(r_0, E)$$

burada $D(r_0, E)$ -çəpərin şəffaflığı; $\rho_T(E)$ -zondla əlaqəli halların sıxlığı; $\rho_S(r_0, E)$ - r_0 nöqtəsində nümunənin hallarının sıxlığı. Beləliklə, tunel cərəyanı zond və nümunə hallarının sıxlqlarının spektri kimi təsvir olunur. Spekrtdə nümunənin halı əsas rol oynayır. Aşağı temperaturlarda sadə düzbucaqlı çəpərdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında zondun hallar sıxlığı sabit qalarsa (3) düsturundan cərəyanın ifadəsini

$$I(r_0, E) \sim \int_0^{eV} \rho_S(r_0, E) dE$$

şəklində yazmaq olar.

Bu halda tunel cərəyanının gərginlikdən asılılığı nümunənin

energetik spektrində hal sıxlığına əsasən təyin olunur.

Təcrübədə $\rho_S(r_0, E)$ kəmiyyəti tunel cərəyanının gərginliyə

görə törəməsi kimi qiymətləndirilir: $\rho_S(eV) \sim \frac{\partial I}{\partial V}$.

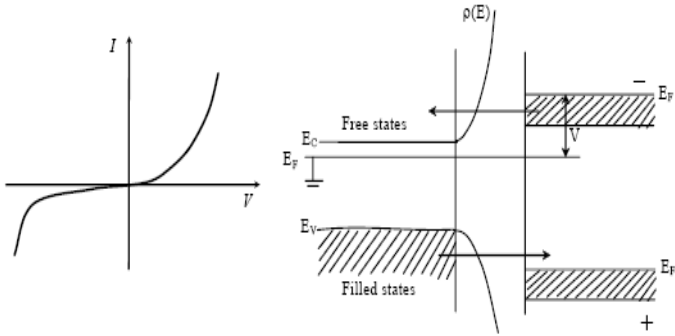
İynənin materialının hal sıxlığının xüsusiyyətləri keçiricilikdə də özünü göstərir. Bəzi hallarda, məsələn yarımkeçirici-volfram cütü üçün spektrində ən maraqlı xüsusiyyət, yarımkeçiricinin həcm və ya səthin hallarının $\sim E_F = 1 - 2eV$ enerjisinə yaxın qiymətləri intervalında yerləşir, burada volframın hal sıxlığı vəziyyəti xüsusi əhəmiyyət kəsb etmir.

Yarımkeçirici nümunələrdə elektronların energetik spektri mürəkkəb struktura malikdirlər. Yarımkeçirici materialların spektrində qadağan zonaların və aşqar səviyyələrin olması metal-yarımkeçirici tunel kontaktının **VAX** xarakteristikasını qeyri-xətli edir (Şəkil 2-4a). Tunel cərəyanına səthin vəziyyətləri və həmçinin səthdə adsorbsiya olunmuş başqa atomlarla əlaqəli enerji səviyyələri mühüm əlavələr edir. Buna görə də yarımkeçirici materialların lokal tunel spektrlərinin tədqiqi yüksək vakuum şəraitində aparılmalıdır.

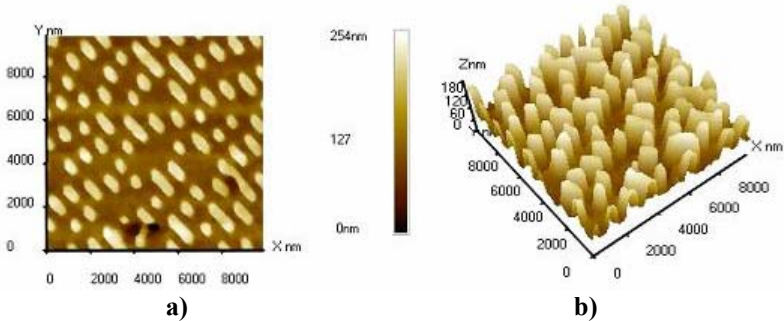
Tunel spektrləri keçiricilik zonasının sərhədinin vəziyyətini və Fermi səviyyəsinə nəzərən valent zonasını təyin etməyə, həmçinin yarımkeçiricilərin qadağan zonaları daxilində aşqar spektral piklərini təyin etməyə imkan verir.

Səthin STM-də alınmış şəkilləri tunel kontaktın tətbiq olunan gərginliyin qiyməti və istiqamətindən asılıdır. Bu elektronların iynədən nümunənin sərbəst hallarına (**Free states**) və ya nümunənin dolmuş hallarından (**Filled states**) iynəyə (Şəkil 2-4b) tunelləşməsi xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır.

Tunel kontaktında tətbiq olunan gərginliyin müxtəlif qiymətlərində CD ROM diskinin səthinin STM şəkilləri Şəkil 2-5 də göstərilmişdir.



Şəkil 2-4. a) Metal-yarımkəçirici tunel kontaktın VAX-nin sxematik şəkli
b) elektronların tunelləşməsinin istiqamətinin təsiri



Şəkil 2-5. Nümunədə səthin 2D və 3D STM şəkilləri a) 2D, b) 3D

V-modulyasiya

V-modulyasiya üsulunda sabit gərginlik V_0 həm də tunel kontaktında kiçik dəyişən V_{ac} gərginlik tətbiq olunur. Bu zaman tunel cərəyanının dəyişən hissəsi üçün

$$I_{ac} = \frac{dI}{dV} \sim \rho(x, y, E_f, +eV_{ac}) \text{ olar.}$$

Bu zaman əks əlaqə sabit siqnalda saxlanılır, tunel cərəyanının dəyişən hissəsi spektroskopik şəklində alınması zamanı istifadə olunur. Beləliklə, topoqrafiyanın ölçülməsi (alınması) ilə lokal hal sıxlığının topoqrafiyasının alınması eyni zamanda

mümkündür.

Z-modulyasiya

Səthin STM şəkillərini sabit tunel cərəyan rejimində alarkən, çıxış işinin variasiyası, ümumiyyətlə şəkildə təhriflərə gətirib çıxarar. Doğrusu bu təhriflər çox kiçikdir və V gərginliyin qiymətləri $2 \div 5\text{eV}$ intervalında dəyişərkən bir neçə anqstrem tərtibində olar, bunları $\varphi(x, \gamma)$ asılılığında nəzərə almaq və eyni bir təcrübədə ölçmək lazımdır. Bunun üçün iynənin ucu ilə nümunə arasındakı məsafəni δ kiçik kəmiyyətinə modulyasiya edərək

$$I_{\sim} = I_T \frac{\delta}{2} \frac{d I_T}{dz} = I_T \frac{\delta}{h} \sqrt{2m\varphi} \quad \text{kimi təyin olunan tunel}$$

cərəyanın dəyişən komponentini ölçmək lazımdır.

Beləliklə, nəinki topoqrafiyanı ölçmək mümkündür, həm də nümunə səthinin çıxış işlərinin qiymətləri ilə fərqlənən müxtəlif tərkibə bölüb ölçmələr aparmaq olar.

STM şəkillərinin keyfiyyətinə təsir edən faktorlar

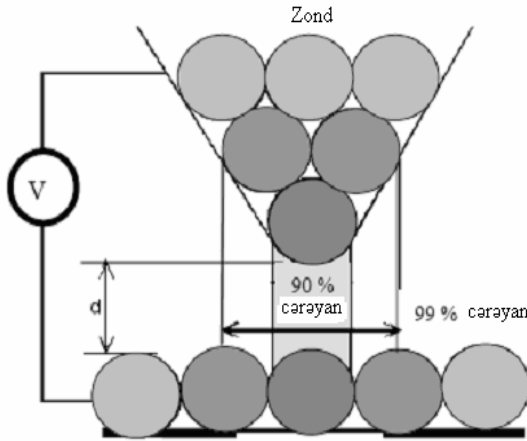
Skanedici zond mikroskopu səthin bütün X , Y və Z istiqamətlərində böyüdülmüş şəklini almağa imkan verir, həm də hər bir ox istiqamətində maksimal ayırdetmə qabiliyyəti ayrı-ayrı faktorlarla təyin olunur.

Z oxu üzrə ayırdetmə, birincisi sensorun həssaslığı və ikincisi zondun nümunə səthinə nəzərən rəqs amplitudu ilə məhdudlaşdırılır. Mikroskopun konstruksiyası elə olmalıdır ki, belə titrəmələrin amplitudunun anqstrem səviyyəsində kiçilməsini təmin etsin.

Nümunə səthinin normalı istiqamətində STM-in ayırdetməsi atom ölçülü-hamar səthlər üçün əlverişli hallarda $0,01$ anqstremə çatır. Tunel cərəyanının $I(z)$ kəskin asılı olması, aparatın elektron səsi, tunel cərəyanının nisbi səsi və başqa buna oxşar təsirlər nəticələrə zəif təsir edirlər. Bəzən çirkləli səth üçün Z koordinatı üzrə səs ciddi artmış olur və mikrometrin hissələrinə çatmış olur.

X - Y müstəvisində maksimal ayırdetmə ən əvvəl zondun

dəqiq skanetməsi ilə təyin olunur. Zondun ucunun həndəsi ölçülərinin quruluşu xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. İdeal hamar müstəvi (atom-müstəvi) səthlərin skanedilməsi ayırdetmə iynənin ucundakı atomun diametri ilə məhdudlaşdırılır (sonuncu atomun effekti, Şəkil 2-6). Beləliklə, yüksək ayırdetməni qiymətləndirmək üçün hesab etmək olar ki, tunnəlaşdırma (90%-ə qədər cərəyan) eyni bir atomda baş verməsini qəbul etmək olar. Zondun makroskopik həndəsi ölçüləri atom tərtibində ayırdetmə üçün həlledici deyildir.



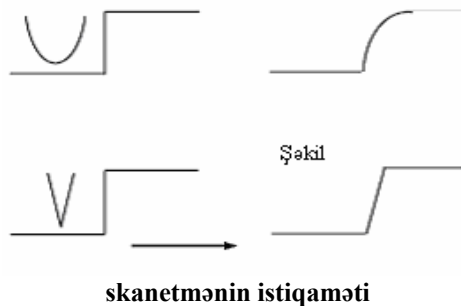
Şəkil 2-6. İynə ucunun nümunə ilə qarşılıqlı təsirinə sxematik şəkli

Böyük həndəsi detallarının müqayisəli araşdırılması zamanı şəklın keyfiyyətcə alınması zondun iynəsinin ucunun itiliyi ilə müəyyən olunur. Aşağıdakı parametrlər kritik ola bilər: İynənin ucunun radiusu r və baxış münasibəti $A_r = L/W$ (zondun hündürlüyünün zondun oturacağıın diametrinə olan nisbəti Şəkil 2-7).

NanoEducator skanedici zond mikroskopun tunel cərəyan çeviricisinin konstruksiyası

NanoEducator cihazında tunel cərəyanının və qarşılıqlı təsir qüvvəsinin universal çeviricisi istifadə olunur. Çevirici -

uzunluğu $l=7$ mm, diametri $d=1,2$ mm və divarının qalınlığı $h=0,25$ mm olan bir tərəfi möhkəm bərkidilmiş pyezokeramik boru şəklində hazırlanmışdır. Borunun sərbəst ucuna diametri 100 mkm olan volfram naqıl bərkidilmişdir. Naqilin sərbəst ucu zond kimi istifadə olunur, zondun ucunun diametri 0,2-0,05mkm olub və elektrokimyəvi üsulla itilənmişdir. Borunun daxili divarlarında gövdəsi ilə birlikdə yerə birləşdirilmiş keçirici elektrod yerləşir. Zond borunun daxili elektrodları ilə elektrik kontaktına malikdir. Tunel cərəyanını ölçərkən pyezoboru sərt passiv konsol rolunu oynayır. Yerə birləşdirilmiş zonda nəzərə alınmayan nümunəyə dəyişən elektrik gərginliyi tətbiq olunur (Şəkil 2-8). Şəkildə təsvir olunan çevrici U_T -elektrik gərginliyini yaradaraq bu tunel cərəyanının yaranmasına səbəb olur və elektron bloka bu cərəyana mütənəsib olan U- gərginliyi verir.



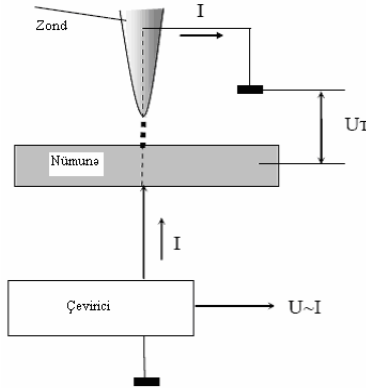
Şəkil 2-7. Baxış münasibətinin və iynə ucunun ayrılıq radiusunun sonlu qiymətlərinin nəticəsində səthin profilinin şəklinin təhrif olunması

İki U_1 və U_2 əməliyyat gücləndiricisi əsasında yığılan cərəyan-gərginlik çeviricisi elektrik sxemdə (Şəkil 2-9) göstərilmişdir. Çeviricinin iş prosesində R_1 rezistorunda yerləşən mənfi əks əlaqəyə görə $\Theta A\check{C}$ (ədədi analoq çeviricisi) tərəfindən verilən dayaq gərginlik hesabına 1 nöqtəsindəki potensial 2 nöqtəsindəki potensiala bərabər saxlanılır (bax Şəkil

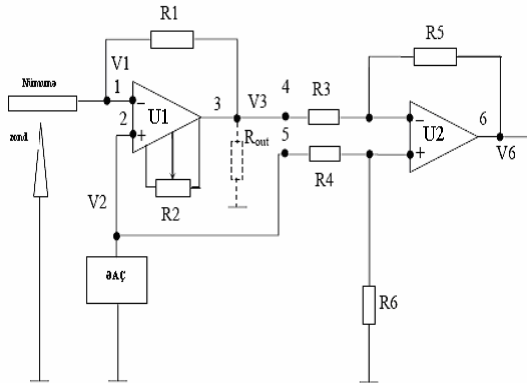
2-9). Tünel cərəyanı U_1 potensialının hesabına yaranır. Cərəyanın keçməsi yolu belədir: nümunə-iyənənin ucu - «yer»- $R_{out}-R_1$, burada $R_{out} - U_1$ əməliyyat gücləndiricisinin çıxış müqavimətidir. Sxemdən aydındır ki,

$$V_3 - V_1 = R_1 I$$

Yəni əmələ gələn tünel cərəyanının qiyməti gərginliklərin $V_3 - V_1$ fərqi ilə mütənasibdir.



Şəkil 2-8. Tünel cərəyanının qeydiyyatı prinsipi



Şəkil 2-9. NanoEducator cihazının cərəyan - gərginlik çeviricisinin elektrik sxemi

U₂ əməliyyat gücləndiricisində diferensialların müqavimətləri gücləndiricidə yerləşir və o, rezistor eyni olduqda $R_3 = R_4 = R_5 = R_6$ və $V_6 = V_3 - V_2 = V_3 - V_1 = R_1 I$ gərginliyini əmələ gətirir.

Beləliklə, cərəyanın gərginliyə çevrilmə əmsalını

$$K = \frac{V_6}{I} = R_1$$

düsturu vasitəsilə hesablamaq olar.

R₂ tənzimləyici rezistoru U₁ gücləndiricisinin çıxışında sıfır siqnalını almaq üçün istifadə olunur və ya yerin potensialına nəzərən 3 nöqtəsində dəyişdirilməsi zəruridir. İdeal halda tunel cərəyanı olmadıqda (zond və nümunə arasında məsafə çox böyükdür). 3 nöqtəsindəki potensial yerə birləşdirilmiş zonda nəzərən nümunədəki sürüşmə gərginliyinə bərabərdir. Bu gərginlik dəyişməsini kompüterlə idarə olunan ƏAÇ verir. Real halda isə ölçülən dövrdə tunel cərəyanı (10^{-10} - 10^{-11} A) qiymətlərinə bərabər cərəyanın itməsi mümkündür. Bu ona gətirib çıxarır ki, tunel cərəyanı olmadıqda belə 3 nöqtəsindəki potensial ƏAÇ verilən potensialdan $R_1 I$ (burada I - itən cərəyan) qiyməti qədər fərqlənəcəkdir. 2 nöqtəsində ölçülən sxemin çıxışında itən cərəyanı mütənasib olan potensial yaranmış olar. Tunel cərəyanının hesablanması itən cərəyanın təsirini aradan qaldırmaq üçün R₂ tənzimləyici müqavimətindən istifadə olunur. Bunun köməyi ilə 3 nöqtəsində potensial ehtəzən dəyişir ki, zond və nümunə arasında böyük məsafə aralığında 3 nöqtəsindəki potensial 2 nöqtəsindəki potensiala bərabər və çıxışda U₆ gərginliyi sıfıra bərabər olur.

Beləliklə, cərəyan-gərginlik çeviricisinin K-çevirmə əmsalı

$$K = \frac{V_6}{I} \quad (4)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Ölçülən cərəyanın minimum qiymətinə prinsipial məhdudiyət elektronun yükünün diskretliyi ilə əlaqədar olan

$I^2 = 2eIA f$ fluktasiyalar və istilik küyləri ilə bağlı olan
 $I^2 = \frac{4kT\Delta f}{R_1}$ “Naykvist” fluktasiyalar ilə əlaqədardır.

burada e - elektronun yükü, T -temperatur, k - Bolsman sabiti, Δf - ölçülən cərəyanın tezlik zolağıdır.

Təcrübədə cərəyan küyünün səviyyəsi, əsasən mexaniki və akustik küylərin təsirindən zond və nümunə arasındakı məsafənin təsadüfi dəyişmələri ilə müəyyən olunur.

NanoEducator skanedici zond mikroskopunda işləməyə başlamazdan əvvəl cihazın istifadəçilərə rəhbərlik və həmçinin **Oscilloscope** proqramının istifadəçilərə rəhbərlik dərs vəsaitlərini öyrənmək zəruridir.

Cihaz 220V gərginlikdə işləyir. **NanoEducator** skanedici zond mikroskopunun istismarı 220V qədər gərginlik tələb edən elektrik qurğularının TİG və TTG-ə uyğun aparılır.

2.3. Metodik göstərişlər

NanoEducator skanedici zond mikroskopunda işləməyə başlamazdan əvvəl cihazın istifadəçilərə rəhbərlik sənədini öyrənmək zəruridir.

2.4. Tapşırıq

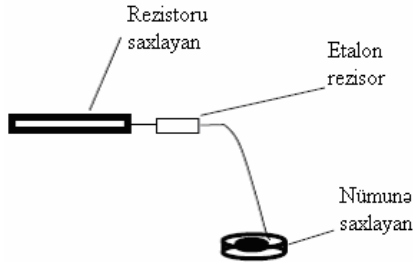
1. Cərəyan-gərginlik çeviricisinin (CGÇ) K-çevirici əmsalının ölçülməsi

1) **NanoEducator** cihazının (Şəkil 2-10) ölçü başlığının yuvasındakı qarşılıqlı təsir çeviricisinin əvəzinə etalon rezistoru saxlayıcıya yerləşdirməli. Yüksək müqavimətli etalon rezistordan keçən cərəyan tunel cərəyanını imitasiya edir. Etalon rezistor pyezoboru əvəzinə qarşılıqlı təsir çeviricisi altlığına bərkidilir. Rezistorun ucu yerlə birləşdirilir, ikinci tərəfi sürüşmə gərginliyinə qoşmaq üçün nəzərdə tutulub və buna görə onu altlığa birləşdirmək zəruridir.

2) Qabaqcadan korpus üzərində göstərilmiş nominal rezistora

baxmaq və ya meqometrın köməyi ilə etalon rezistorun müqavimətini ölçmək. Rezistorun ayaqlarını elə  ym k lazımdır ki, altlıđın aralıđına pinset vasitəsi ilə yerləşdirmək mümkün olsun

- 3) Rezistoru qoyarkən diqqətli olmaq lazımdır.  unki altlıđa əlavə t zyiđ skanedicinin sıradan çıxmasına səbəb ola bilir.



Şəkil 2-10. Etalon rezistorun qoşulma sxemi

- 4) **NanoEducator** proqramının idarətmə panelində **T** düyməsini sıxaraq tunel mikroskopu rejimini iř  salmaq.
5) **Landing** menyusuna daxil olmaq   n cihazın panelindəki



düyməsini sıxmalı. **Bias voltage** gərginliyin $V \sim 100mv$ qiymətini daxil etməli. Ke en cərəyanın qiymətini $I=V/R$ düsturu ilə hesablamalı(burada R-etalon rezistorun müqavimətidir), **Landing** pəncərəsində (**Tunnel current**) tunel cərəyanın qiymət g st ricisindəki rezistordan ke en tunel cərəyanın real qiymətinə baxmaq olar. Onların müxtəlifliyi halında mümkün səbəblərini izah etməyə  alıřın.



- 6) Cihazın panelində **OSC** düyməsini sıxaraq virtual osilloqrafi iřl tm k və ya **NanoEducator** olan qovluqdan **oscilloscope.exe** faylını iřl tm kl  osilloqrafın hər hansı bir kanalından **ADC-Current-mV** siqnalı d qiql şdirm li.
7) CG -nin  ıxıřında gərginliyin qiymətini virtual osilloqrafa görə təyin etməli. (4) düsturunun köməyi ilə çevirici əmsalı

hesablamalı.

2. Maksimal ölçülən cərəyanın təyini

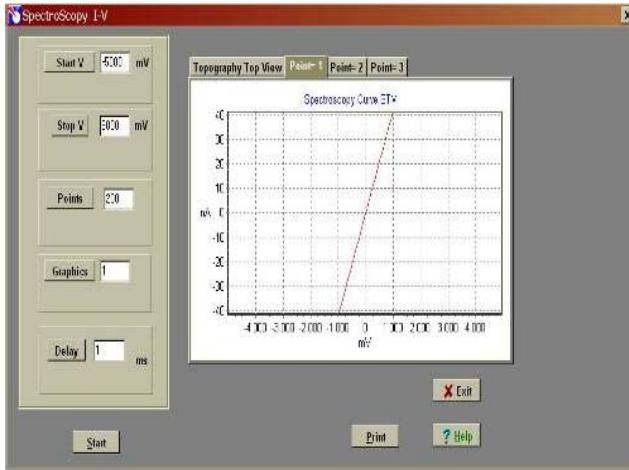
- 1) Bu məqsədlə Volt-Amper xarakteristikasını almaq lazımdır (Rezistordan keçən cərəyanın tətbiq olunan gərginlikdən asılılığını təyin etmək) – **Spectroscopy I(v)**. Bu proseduraya keçmək üçün **Landing** pəncərəsində **Cancel** düyməsini sıxaraq və **Scanning** menyusuna daxil olub



cihazın panelində **SCAN** düyməsini sıxmaq (proqram zond - nümunə qarşılıqlı təsirinin olmadığı haqqında qabaqcadan məlumat verir, yəni yaxınlaşma baş verməyib) lazımdır. Qabaqcadan 5 xətdən az olmayaraq skanetməni aparmaq, skanetmə sona çatdırdıqdan sonra alınmış formanı bağlamaq (bu işdə lazım deyil) lazımdır.

- 2) **Spectroscopy** prosedurasına keçib **Scanning** pəncərəsində yuxarı sahədə uyğun düyməni seçməklə **Scanning** pəncərəsində sağ yuxarı hissəsinə kursoru qoyub siçanı sıxmaq, nöqtələri proqrama göstərib Volt-Amper xarakteristikasını almalı. İki nöqtə seçin.
- 3) **RUN** düyməsini sıxmalı. Bu zaman **Spectroscopy** rejiminin idarəedici pəncərəsi açılacaqdır. Volt-Amper xarakteristikasını almaq üçün gərginliyin başlanğıc və son qiymətlərini daxil etmək: **Start V Final V** (-5000mv, 5000mv) bir qrafikdə ölçmə nöqtələrin sayını - **Points** (məsələn 200) və **Graphycs** (məsələn, 5) bir fəza nöqtəsində qrafiklərin sayı, ölçmələrdə nöqtələrarası **Delay**(1ms) dayanmaların olduğu kimi saxlamalı.
- 4) Spektroskopiya idarəetmə pəncərəsindəki **RUN** düyməsini sıxmalı. Gərginliyin hər bir 10mV qiymətindən bir olmaqla 200 nöqtədə etalon rezistorundan keçən tunel cərəyanının ölçülməsi baş verir. Proqram I(V) asılılığının qrafikini qurur. Alınan qrafik birbaşa Om qanununu təsvir edir. Hər iki nöqtədə ölçülmüş qiymətlər qrafiklərdə üst - üstə düşür. Bunlardan birini saxlayaraq hesabatda verməli.

- 5) Düzgün nizamlanmış aparatla və elektrik itkisinin olmadığına görə qrafik koordinat başlanğıcından keçəcəkdir. Bu gərginlik olmadıqda rezistordan keçən cərəyanın sıfıra bərabər olduğunu göstərir.
- 6) Alınmış qrafikdə məhdud ölçmə sxemi qalıbsa orada üfüqi sahələr olacaqdır. Qrafikə görə cihaz tərəfindən ölçülən maksimal cərəyanı təyin edin.



3. Cihazda ölçülən minimal cərəyanı təyin edin.
 - 1) Altlıqdan etalon rezistoru ayırın. Ölçən başlıqda etalon rezistoru saxlayıcı ilə birlikdə çıxarın. Ölçən başlığın qapağını bağlamaq lazımdır ki, elektrik təsirlər olmasın. Bu zaman CGÇ itən cərəyanı ölçəcəkdir.
 - 2) Ossiilloqrafın kanallarından birində **ADC-Current** signalını verməli. Şaquli istiqamətdə ossiilloqrafın məstəbətini artırmaqla səs izlərinin yaranmasına nail olmalı. Səs izlərinin alınması pəncərəsini hesabatda təsvir etmək üçün saxlamalı.
 - 3) **ADC-Current** güclü səs izləri signalının Amplitud miqyasında ölçülən cərəyanın minimal qiymətinin təyini.

Ölçülən cərəyanın minimal qiyməti aparatın səsinin qiyməti ilə təyin edilir.

4. Sabit tunel cərəyanı rejimində səthin topoqrafiyasının alınması.

- 1) Tədqiq olunan nümunəni altlıqda yerləşdirmək.
- 2) **NanoEducator** cihazın ölçən başlığın yuvasına zond çeviricini yerləşdirmək.
- 3) Cihazın **NanoEducator** idarəetmə proqramını işə salmaq. SQM Skanedici qüvvə mikroskopu rejimini seçmək. Açıq şəraitdə işləyərkən qarşılıqlı təsirin alınması üçün **NanoEducator** cihazında qarşılıqlı təsir qüvvə rejimini seçmək yaxşı olardı. Bu ehtiyatlılıq əlaqə zamanı zonda zədələnməmək üçün zəruridir, yəni STM - də tədqiq olunan nümunə havada qismən turşulaşır.
- 4) Zond çeviricinin amplitud-tezlik xarakteristikasını təyin etməli və işçi tezliyin daxil etməli.
- 5) Zondun nümunə ilə yaxınlaşmasını 1mm məsafəyə əllə işləyən gətirmə burğunun köməyi ilə yerinə yetirməli.
- 6) SQM rejimində qarşılıqlı təsirin alınmasını yerinə yetirməli.
- 7) **Landing** pəncərəsinin bağlamalı. Tunel mikroskopu rejiminə **NanoEducator** proqramının idarəetmə panelində **T** sıxmaqla keçmək.
- 8) **Landing** düyməsini sıxın. Tunel mikroskopu rejimində qarşılıqlı təsirin alınmasını aşağıdakı parametrlər əsasında həyata keçirməli (əgər bir rejimdən digər rejimə keçərkən qarşılıqlı təsir itibəsə)

Set point	0,5 nA;
Integrator delay (Options menyusunda)	1000 ms;
Feed Back Loop Gain	3;
Bias Voltage	0,2 V.

- 9) Skanetmə pəncərəsini açmalı. Nümunə haqqında qabaqcadan verilmiş məlumatlar əsasında skanetmənin zəruri parametrlərini verməli. Sabit tunel cərəyan rejimində səthin topoqrafiyasını ölçməyə başlamalı.

- 10) Əgər alınmış şəkildə skanetmənin təhrifi varsa (tunel kontaktın qeyri-dayanaqlığı hesabına əks əlaqədən kənarlaşma əmələ gəlir, qonşu xətlər skanetmədə təkrar olunmur) skanedicini saxlayın və kontaktın alınması üçün aşağıdakı parametrlərin qiymətlərini dəyişməklə kontaktı stabilləşdirməyə çalışın.

Feed Back loop Gain	1 - 3
Set-Point	0,2 – 1 nA;
Bias Valtage	0,2 – 1 V.

Əgər Z qiyməti **Scanner Protraction** indikatorunda azalmağa başlayırsa, onda **Feed Back Loop Gain** və ya **Set Point** parametrlərindən birinin qiymətlərini artırmaqla Z - in qiymətini bərpə etməli.

Sabit tunel cərəyanı rejimində səthin topoqrafiyasının ölçmələrini həyata keçirin. Alınmış nəticələri saxlayın.

- 11) Təcrübəni qurtardıqdan sonra skanetmə pəncərəsini bağlayın və zond nümunədən uzaqlaşdırın.

2.5. Yoxlama sualları

1. STM-in əsas komponentlərinin adları və onların təyinatı.
2. Tunel sensor qurğusunu və iş rejimini aydınlaşdırın. İşləyərkən əsas parametrləri təsvir edin.
3. Sabit cərəyan və sabit hündürlük rejimləri nədir? V - və Z - modulyasiyası nədir? Nə üçün onlar tətbiq olunur?
4. Tunel spektroskopiya. Silisium səthinin şəklində elektronların tunelləşməsinin istiqamətinin təsirini aydınlaşdırın.
5. STM-də şəklə keyfiyyətli alınması üçün faktorların adlarını deyiniz. STM zondlara nə kimi tələblər qoyulur?