

## **Laboratoriya işi № 5.**

### **Skanedici zond litoqrafiyası.**

5.1. İşin məqsədi .....	117
5.2. İşin məzmunu .....	117
5.3. Metodik göstərişlər .....	130
5.4. Tapşırıq .....	130
5.5. Yoxlama sualları .....	134

## 5.1. İşin məqsədi

1. Zond nanotexnologiyasının fiziki əsaslarının öyrənilməsi.
2. Skanedici zond mikroskopunun köməyi ilə müxtəlif litoqrafiyaların yerinə yetirilməsinin öyrənilməsi.
3. Dinamik qüvvə litoqrafiyasının yerinə yetirilməsinin təcrübi vərdişlərinin alınması.

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

**Tədqiqat üçün nümunə:** Qoruyucu təbəqəsi çıxarılmış məlumat yazısı olmayan kompakt disk fraqmenti.

İş iki hissədən ibarət olub və hər bir tələbə tərəfindən fərdi yerinə yetirilir. İşin zəruri təcrübə hissəsi bir dərsdə yerinə yetirilir və 4 saat davam edir.

İşə başlamazdan qabaq hər tələbə üçün zond seçmək zəruridir və cihazların birində test şəkili üçün litoqrafiyanı yerinə yetirmək lazımdır.

## 5.2. İşin məzmunu

Zond nanotexnologiyasının fiziki əsasları. Skanedici zond litoqrafiyasının növlərinin öyrənilməsi. Dinamik qüvvə litoqrafiya rejimində litoqrafiyanın optimal şərtlərinin seçilməsi və polimer səthə test şəklinin(**samples\litho\nanoworld**) yazılması(köçürülməsi).

Müəlliflik şəkili üçün litoqrafiyanın yerinə yetirilməsi (tələbənin arzusunu nəzərə almaqla).

### Giriş

Hal-hazırda dünyada elm tutumlu sənaye sahələrinin konkuriyent qabiliyyətliliyini təyin edən, elm və texnikanın bir sıra “kritik” istiqamətləri formalaşmışdır. Mikroelektronika və mik-rotexnologiya, yəni yüksək minatürlü elektron cihazlar və onların mikro səviyyədə reallaşması üsulları, XX əsrin ikinci yarısından başlayaraq elmi-texniki tərəqqinin inkişafında təminində əsas rol oynadı.

Mikrosxem elementlərinin xətti ölçülərinin kiçilməsi məsələsi mikroelektronikada əsas problemlərdən biridir. Hal-hazırda bu sahədə texnologiyanın inkişaf səviyyəsi submikron ölçülərə çatıb və artıq nano səviyyəyə keçmişdir. Elementlərin işləmə fizikası dəyişmişdir. Hazırda bu tamamilə kvant mexanikasına əsaslanır [19].

İnteqral nanoelektron kvant sxemlərinin yaradılması nanotexnologiyanın son məqsədidir[20]. Beləliklə nanotexnologiyanı bərk cisimlərin səthində nanometr ölçülü funksional elementlərin yaradılması üsulları, tətbiqləri, eyni zamanda ayrıca molekul və atomlardan yaradılması, onların vizual görünüşü və nəzarətin olması imkanları kimi təyin etmək olar.

Yarımkəçirici təbəqənin səthində örtüklərin yaradılmasının ənənəvi tətbiqi üsulu daha yüksək ayırdetməyə malik müxtəlif mikrolitoqrafiyanın tətbiq olunması, həmçinin rentgen-elektron və ya ion litoqrafiyaları, nanometr eninə ölçüləri olan elementləri yaratmağa imkan verir. Bəzən ayrıca bir molekul və atomlara əsaslanan elementlərin yaradılması ənənəvi yollarla mümkün olmur.

1981-ci ildə Q.Bininq və X.Rorer skanedici tunel mikroskopunu (STM) kəşf etdilər, bu hər şeydən əvvəl keçirici materialların tədqiq olunmasını-onu zədələmədən 0,01nm ölçüyə qədər yeni ayırdetmə üsul idi. Yeni yüksək imkanlar atom-qüvvə mikroskopunun (AQM) yaradılması kəşfi ilə mümkün oldu ki, bu da nəinki keçiricilər, həmçinin dielektrik materialların relyefini öyrənməyə imkan verdi.

Skanedici zond mikroskopunun (SZM) yaradıcıları təklif etdilər ki, SZM nümunə səthinin modifikasiyası üçün alət kimi istifadə oluna bilər. Həqiqətən, zondun nümunənin səthi ilə lokal kontakt hissəsində kifayət qədər böyük qüvvələr, elektrik sahəsinin intensivliyi və elektrik cərəyanının sıxlığı yarana bilər. Ayrıca və birlikdə bu faktlar nümunə səthinin lokal modifikasiyasına səbəb olar. Yəni zond və nümunə arasındakı qarşılıqlı təsirin səviyyəsini dəyişməklə tədqiq olunan nümunə

səthi sıfır və ya minimal səviyyədə zədələməklə SZM-in ölçmə iş rejimindən litoqrafiya rejiminə, nanometr səviyyədə fəza ölçülü ayırdetmə ilə qabaqcadan verilmiş strukturu nümunənin səthində yaratmağa imkan verir. Beləliklə yeni istiqamət-zond nanotexnologiyası kəşf olundu.

Bu vaxta kimi zond nanotexnologiyasının köməyiylə diskret nanoelektronika qurğuların yaradılmışdır. Bu qurğular ayrıca funksional elementlər şəklində olub (MOM diodu, bir elektronlu tranzistor)[21] yüksək sıxlıqlı məlumat yazan yaddaş qurğularıdır. Bu zaman bütünlüklə molekulyar elektronika ideyası həyata keçə bilər[23] və ayrıca molekulaların istifadə olunması və modifikasiyası mümkündür.

### **Zond nanotexnologiyasının fiziki əsasları [23, 24]**

Skanedici tunel mikroskopunda zond və nümunə arasında məsafə 0,5 nm, elektrodla tətbiq olunan gərginlik 5V atomdaxili elektrik sahə intensivliyi ilə müqayisə olunan  $10^8$  V/sm-ə yaxın elektrik sahəsi yaranır. Belə sahələrin lokal xarakterli olması, zondun iti uclu, tətbiq olunan gərginliyin aşağı olması, elektrodla arası aralıqda molekulaların və atomların ionlaşmasını yarada bilməz. Belə sahələrdə cərəyanın sıxlığının elektron emissiyasının qiyməti  $10^8$  A/sm<sup>2</sup> -ə qədər mümkündür, bunu Fauler-Nordheym düsturlarına görə qiymətləndirmək olar:

$$j = 1,55 \cdot 10^{-6} \frac{E^2}{\phi} \exp \left( - 6,836 \cdot 10^7 \frac{\Theta \Phi^{\frac{3}{2}}}{E} \right),$$

$$\theta = 0,935 - 10,79 \cdot 10^{-8} \frac{E}{\phi^2}$$

burada E-elektrik sahəsinin intensivliyi (V/sm),  $\phi$ -elektrik sahəsinə tətbiq olun gərginlik hesabına (V) elektronların, elektroddan çıxış işidir. İynə şəkilli elektroddan çıxan yüksək sıxlıqlı elektronlar dəstəsi, altlığın qızmasına səbəb ola bilər. İzotrop nümunə altlıqlar üçün dəstələr oxundan səth boyunca r radiusu üzrə lokal temperatur artmasını

$$\delta T(r) = \frac{UI}{4\pi kl} \left( 2 \frac{l}{r} \left( 1 - e^{-\frac{r}{l}} \right) - e^{-\frac{r}{l}} \right),$$

düsturu ilə qiymətləndirmək olar. Burada  $U$ -elektrodlara tətbiq olunan gərginlik,  $I$  - tunel cərəyanı,  $k$  - altlığın istilik keçirmə əmsalı,  $l$ -altlıqda elektronların qeyri-elastiki səpilməsinin uzunluğudur.

Elektrostatik sahə həmçinin elektrodların səthinə normal istiqamətdə mexaniki gərginlik yaradır:  $\sigma = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2$ , burada  $\varepsilon$  - elektrodlararası mühitin dielektrik nüfuzluluğu,  $\varepsilon_0$  - vaku-umda dielektrik keçiriciliyidir.

Bu sahə metal elektrodların səthlərində lokal elastiki və plastik deformasiyalarının yaranması üçün kifayət edir. Məsələn, havada  $E > E_0$  ( $E_0$ - elektrostatik deformasiyanın yuxarı həddi olan elektrik sahəsi), burada  $E = 2,1 \cdot 10^3 \tau^{1/2}$  V/sm ( $\tau$  - plastik deformasiya zamanı müşahidə olunan mexaniki gərginlik,  $\Pi_a$ ) nümunə metal altlığın lokal plastik deformasiyasının formasının şiş şəklində olmasıdır. Bu zaman daha sərt iynə formalı elektrod ola bilsin dəyişməz qalsın.

Elektrodlar arası aralıqda güclü elektrik sahəsinin köməyi ilə mühitdə molekulların polyarlaşması və onların düzümü mümkündür. Molekulların və qatışıqların dipol - dipol qarşılıqlı təsiri hesabına elektrodların adsorbsiyasından və ya elektrod- lar arası aralıqda yerləşən maye dielektrik fazada elektrod keçirici molekulyar körpüçüklər əmələ gəlməsi mümkündür.

STM və AQM zondların köməyi ilə altlığa birbaşa mexaniki təsir mümkündür. Onda lokal cizgilər və ya zondun boş hərəkəti altlığın plastik deformasiyasının yuxarı həddinin qiymətindən aşması, mexaniki deformasiyasının baş verməsinin qarşısı alınmazdır.

Bələliklə, nanotexnologiya proseslərini təyin edən əsas faktlar bunlardır: molekul daxili və atom daxili sahələr müqayisə

olunan lokal elektrik sahəsi; böyük cərəyan sıxlığı və bunun elektrodinamik təsiri; keçən cərəyan tərəfindən yaradılan yüksək sıxlıqlı lokal istilik seli; lokal mexaniki deformasiyalar.

### **Skanedici zond litoqrafiyanın növləri**

SZM zondun səthlə lokal qarşılıqlı təsirinin növlərinə uyğun olaraq zond litoqrafiyanın aşağıdakı növləri vardır:

- STM litoqrafiya;
- AQM anod-oksid litoqrafiya;
- AQM qüvvə litoqrafiya;
- Başqa spesifik növləri (elektrostatik yük litoqrafiyası, yaxın sahə optik mikroskopun köməyi ilə litoqrafiya və i.a.).

### **STM litoqrafiya**

Çoxlu müxtəlif növlü STM litoqrafiyalar mövcuddur. STM-in köməyi ilə səthin modifikasiyasının ən sadə üsulu STM-in səthlə bilavasitə kontaktı zamanı STM zondun səthə təsirindən ibarətdir. Bu səthdə çuxurların əmələ gəlməsinə səbəb olur, bu zaman zondun özü də zədələnmə bilər.

Nümunə səthinə təsir üsulu nümunəyə yüksək sıxlıqlı cərəyan impulsu və ya yüksək gərginlikli elektrik sahəsinin verilməsindən ibarətdir. STM zondun nümunə səthinə təsiri nəticəsində nümunə əriyə və ya buxarlana (Şəkil 5-1) bilər. STM zondunu nümunə səthi üzrə materialın hissəciklərinin yerini dəyişdirə və ya onu oradan çıxara bilər, çoxlu sayda molekullar və həmçinin atomlarla manipulyasiya edə bilər (Şəkil 5-2).

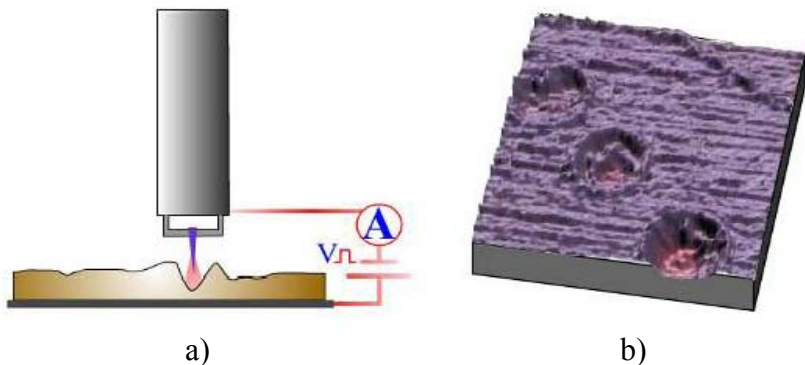
### **Lokal anod oksidləşmə**

Bu növ litoqrafiyada nümunənin nəinki relyefi, həm də səthin lokal elektrofiziki xassələri dəyişir. Məsələn AQM keçirici zonduna verilən gərginlik nümunə səthində elektrokimyəvi prosesin başlanmasına səbəb olur, metallik təbəqə zondun təsirindən oksidləşir. Bu üsul havada istifadə olunur, bu zaman zond və nümunə materialının səthi nazik adsorbsiya təbəqə ilə örtülmüş olur. Nümunə səthinə zond kifayət qədər yaxınlaşdıqda, bu nazik adsorbsiya təbəqəyə zond toxunur və kapillyar effektin təsirindən iynənin ucu ilə nümunə arasında su səddi

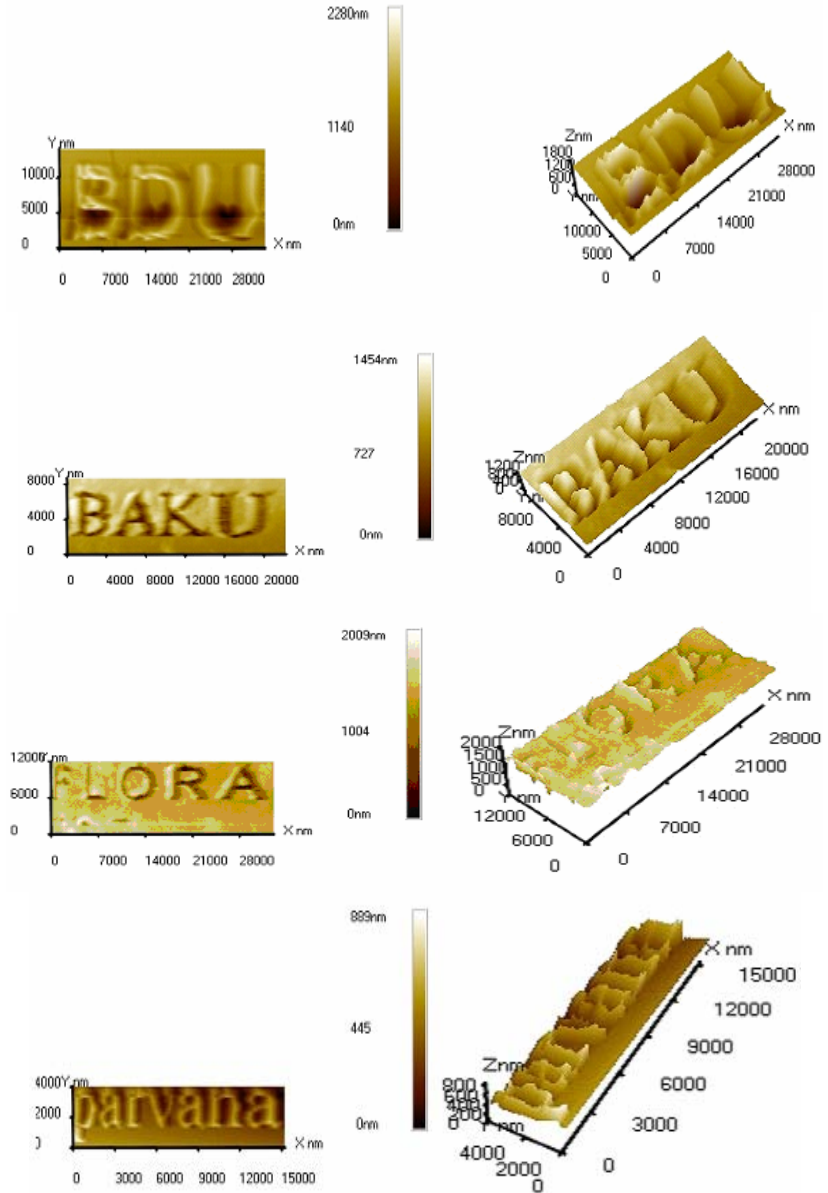
(aralığı) yaranır. Beləliklə verilən gərginlik su mühitində zond və nümunə səthi arasında elektrokimyəvi reaksiyanın baş verməsinə səbəb olur. Əgər səth müsbət yükə malikdirsə, iynə mənfi yüklüdirsə onda bunlar uyğun olaraq anod və katod kimi elektrokimyəvi qarşılıqlı təsirdə olacaq və bilavasitə iynənin təsiri nəticəsində oksidləşmə təbəqəsi artmış olacaqdır (Şəkil 5-3).

Qeyd etmək zəruridir ki, yarım hündürlükdə ölçülmüş oksidləşmiş nanohissəciklərin diametri 8-10 nm təşkil edir. Yazmaq elementi kimi belə nanohissəciklərin istifadə olunması məlumatın effektiv yazı sıxlığı 1T bayt/düyüm<sup>2</sup> təşkil edir.

Səthin nanomodifikasiya zamanı nöqtələrin səthdə formalaşması ilə məhdudlaşmır. Uyğun proqram təminatını istifadə edərək zondun verilmiş vektorlar üzrə yerdəyişməsinə və daha mürəkkəb obyektlərin xətlərinin nümunə səthində formasını almaq olar.

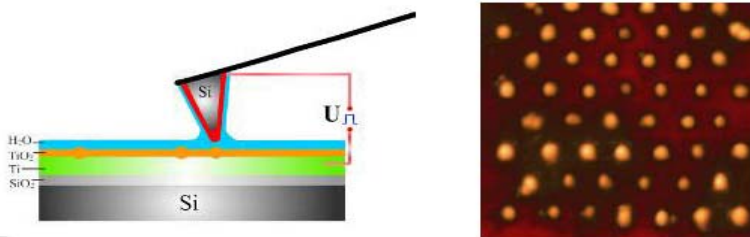


Şəkil 5-1. SZM litoqrafiyaya misal. Üç monotəbəqəli Lenqmür-Blodjet (b) keçirici təbəqənin STM şəkilləri (skanetmənin ölçüsü 256x256nm<sup>2</sup> olan). Lokal gərginliyin üç impulsu tətbiqindən sonra bir monotəbəqədə kraterə oxşar dərin defektlərin görünüşü



Şəkil 5-2. STM 2D(solda) və 3D(sağda) litoqrafiya şəkilləri





**a)** **b)**  
**Şəkil 5-3.** AQM keçirici zondun köməyi ilə anod oksidləşməsinin lokal prosesinin sxemi. Silisium (Si) səthində titanın çox nazik təbəqəsinin verilmiş nöqtələrdə oksidləşməsi şəkli (skanetmə ölçüsü  $200 \times 200 \text{ nm}^2$  olan)

### Qüvvə litoqrafiya

SZM zondunu vasitəsi ilə bilavasitə nümunə səthinə qüvvə ilə təsir etməyə imkan verir. Bunu iki üsulla-statistik təsirlə (nanocızıq çəkməklə və ya həkətmə) və dinamik təsirlə (nanozərb etmə) aparmaq olar.

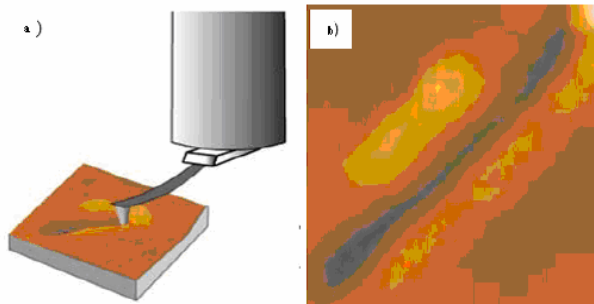
Həkətmə prosesi yaxşı məlum olan vasitə olub nümunə səthində şəkillərin əmələ gəlməsi vasitəsidir. Skanedici zond mikroskopu üsulundan istifadə etməklə bu prosesin nanometr ayırdetmədə nanohəkətmə ilə reallaşmasına imkan verir. Nanohəkətməni həyata keçirərkən qüvvə mikroskopu zond üsulu ilə, zond nümunə səthini kifayət qədər güclə sıxaraq hərəkət edir, nümunə səthində (onda yerləşmiş təbəqə rezistində) dərin şəkil (cızıntılar) yaranır. Belə üsul yaratma prinsipindən istifadə olunur: zondun ucunun forması ilə təyin olunan xüsusi xarakterli kəsikli çuxurlar səthdə yaranaraq material altlıqdan çıxarılır.

Aydındır ki, qüvvə litoqrafiyanın aparılması üçün zondun materialının möhkəmliyi nümunənin materialının möhkəmliyindən yuxarı olması zəruridir. Bu zaman kantileverin yapışması və nümunə qoyulunun materialının hissəciklərinin zonda

yapışması baş verməməlidir. Nümunənin kələ-kötürlülüyü adətən 1-10 nm-dən böyük olmamalıdır. Həmçinin nümunə səthi təmiz olması zəruridir. Qüvvə litoqrafiyasının həyata keçirilməsi üçün polikarbonat və polietilen polimer materiallar daha münasibdir.

Belə nanolitoqrafiya texnologiyası kifayət qədər sadə və ucuz olmaqla bərabər, bir sıra müəyyən çatışmamazlıqları vardır. Zondun statistik təsiri ilə nano çuxurların yaranması zamanı kantileverin təsadüfi torsion əyilməsi hesabına şəkildə qeyri-bircinsliyinə gətirib çıxarır. Bundan əlavə bərk cismin səthi ilə işləyərkən bu üsul zondun tez xarab olmasına gətirib çıxarır.

Dinamik qüvvə litoqrafiyasının(nanozərbətmə) istifadə olunması zamanı səthin modifikasiyası nümunə səthi üzərində zondun rəqs etməsi hesabına dərinliyin yaranmasıdır (Şəkil 5-6). Belə nano litoqrafiya üsulu torsion təhriflərdən sərbəst olub, alınmış şəkli nümunə səthinə və rezistə təsir etmədən vizualizasiya etməyə imkan verir. Səthin qısa müddətli iynələnməsi zondun tez bir zamanda zədələnməsinin qarşısını alır.

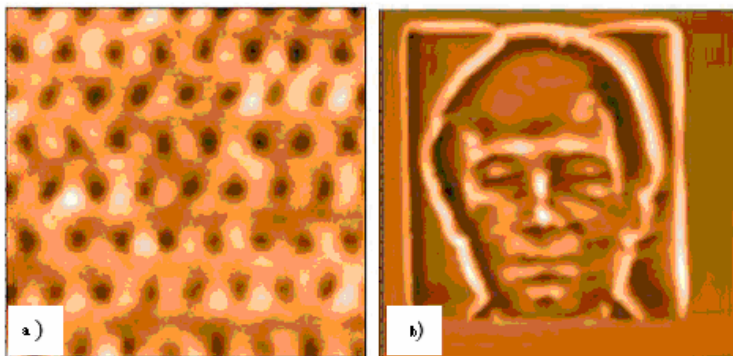


**Şəkil 5-4. Statistlik qüvvə litoqrafiyası prosesinin sxematik şəkil (a) Alüminiumun səthinə cızıqlamaqla köçürülmüş şəkil (b) (skanetmənin ölçüsü 1,6x1,6 mkm² olan)**

Dinamik litoqrafiyanı vektor və ya cızıqlamaqla skanetmənin istifadə olunması ilə aparıla bilər. Vektor litoqrafiya qabaq-

cadan verilmiş şəkil üzrə həyata keçirilir. Bunun üstünlüyü nisbətən böyük sürətlə aparılması, bu zaman litoqrafiya prosesində təsir etmə qüvvəsinin nizamlanmasına imkan vermir. Cızılmaq litoqrafiyası zəif sürətlə aparılır, şəklın formalaşan bütün müstəvisi üzrə skanetmə zond vasitəsi ilə aparılır, buna baxmayaraq skanetməni səthə zondla müxtəlif təsir etmə qüvvəsinin köməyi ilə (şəkil şablonundan asılı olaraq) həyata keçirmək olar.

Cızılmaqla litoqrafiyasında nanozərbətmədən istifadə olunması zamanı yaxşı nəticələrin alınması, qabaqcadan qrafik-şablon şəklının hazırlanması əsas rol oynayır. Şəkildə ağ rəng nümunəyə təsirin olmadığı, qara rəng-təsir edən qüvvənin maksimal olduğunu göstərir. Şəkli hazırlayarkən ən əsas vacib detallar bunlardır: şəkilin formasını qara-ağ götürmək, qara rəng hissəsini kifayət qədər yaxşı rəngləmək, bu zaman elə etmək lazımdır ki, kiçik ağ sahələr növbələşməsi olmasın, fon və digər lazımsız detallar ağ rənglə rənglənsin. Bəzi hallarda şəklın kontrastlığının artırılması daha faydalıdır.



**Şəkil 5-5. Vektor dinamik qüvvə litoqrafiyası (a) ( skanetmə ölçüsü  $220 \times 220 \text{ nm}^2$  ) requlyar dərinə massiv şəklində və cızılmaqla litoqrafiyası (skanetmə ölçüsü  $2,5 \times 2,6 \text{ mkm}^2$  olan)**

## **NanoEducator cihazında cızıqlamaqla dinamik qüvvə litoqrafiyasının yerinə yetirilməsi**

Litoqrafiyaya başlamazdan əvvəl litoqrafiyası olunacaq şəkil üçün nümunə səthinin skan edilməsi zəruridir. Litoqrafiyanın müvəffəqiyyətlə aparılması üçün nümunə səthinin kifayət qədər hamar və səth üzərində qüsurlar və çirklər olmaması zəruridir. Buna görə də birinci olaraq litoqrafiyası olunacaq şəkil sahəsindən böyük nümunə səthi seçilərək skanetməni yerinə yetirməli. Bu əlverişli səthin seçilməsini tez tapmağa imkan verir. İşçi sahənin skan olunacaq səth sahəsinin orta hissəsində seçilməsi məqsədə uyğun hesab edilir.

Bundan sonra litoqrafiya aparılması üçün işçi sahənin skan edilməsinə başlanılır. Şəkil şablonun tərəflərinin münasibətinə uyğun sahənin seçilməsi məqsədəuyğun hesab olunur, bunun üçün şəkil şablonunda pikselin miqdarına uyğun olaraq X, Y istiqamətlərində skanetmə nöqtələrinin sayını vermək lazımdır.

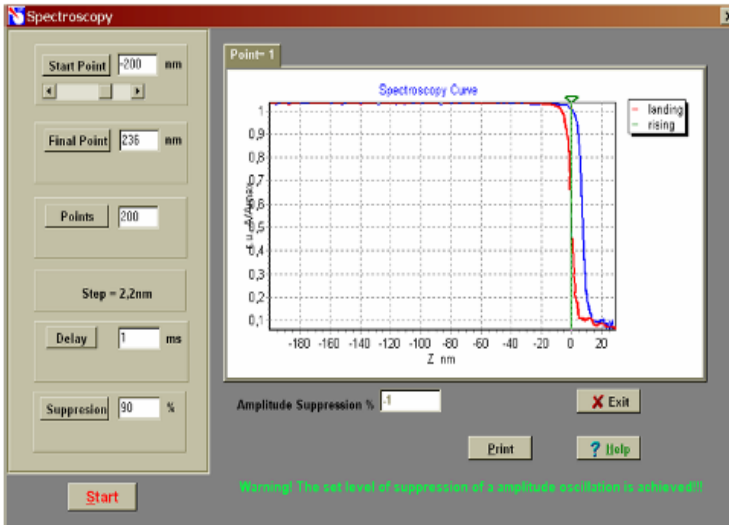
Cızıqlamaqla litoqrafiya prosesi kifayət qədər çox vaxt aparır, skanedicinin kənara çıxmaları hesabına seçilmiş səthin sahəsindən kənara yerdəyişməsi ola bilər. Bu zaman şablona əsasən formalaşan səth relyefi güclü təhrif olunmuş ola bilər. Bunun üçün işçi səthin bir neçə dəfə skan edilməsi vacibdir ki, təhriflərin olmadığına əmin olduqdan sonra litoqrafiya prosesini aparılsın.

**NanoEducator** cihazında nümunə səthində şəklə zərb ilə alınması təyin olunmuş sahənin cızılmaqla skan edilmə aparılır və bu zaman şablon-şəklə uyğun işıqlıq piksellərindən asılı olaraq verilmiş nöqtələrdə qüvvə ilə nümunəyə təsir edilir.

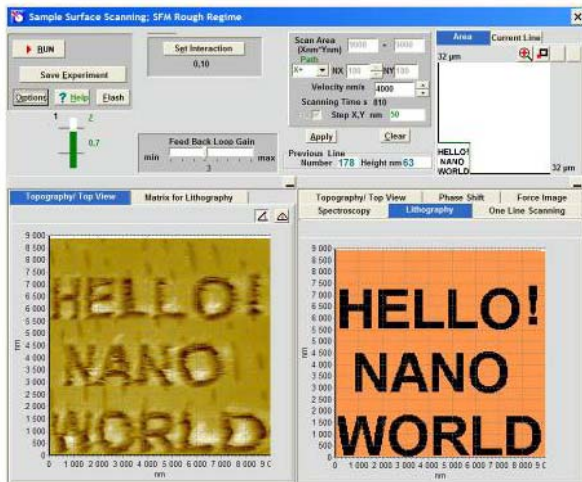
Təsirin maksimal dərinliyinin təyin olunması üçün spektrroskopiya prosedurasını yerinə yetirmək və zond-nümunə arasındakı aralıq məsafəyə və asılılıq əyrisinə (Şəkil 5-6) əsasən zondun rəqs amplitudunu qiymətləndirmək olar.

**Scanning** pəncərəsinin aşağı sağ hissəsində **Lithography** imkanını seçərək litoqrafiya prosedurasını yerinə yetirmək

olar. Bu zaman **Scanning** pəncərəsinin sol aşağı sahəsində litoqrafiyanın idarəedici elementləri yaranacaqdır (Şəkil 5-7).



Şəkil 5-6. Kontakt nöqtədə zond və nümunə arasında məsafəni qiymətləndirmək üçün spektroskopiya əyrisi



Şəkil 5-7. Litoqrafiya prosedurasının pəncərəsi

Litoqrafiya prosedurası aşağıdakı addımlarla yerinə yetirilir:

1. Nümunə səthinə yazılması şəkil-şablonu daxil edin. Şəkili qabaqcadan **\*.bmp** qrafik formasında hazırlamalı və saxlamalı. Şəklin seçilməsi və daxil olunması **Load Image** düyməsini sıxmaqla edilir.
2. Nümunəyə zondun maksimal dərinliyə təsirinin qiymətini **Action nm** vasitəsi ilə təyin edərək daxil edin. Bu kəmiyyətin qiymətini səthin hamarlılığı nəzərə alınmaqla, zond və nümunə arasındakı məsafənin qiymətləndirilmiş nəticəsindən 10-50% böyük olmaq şərti ilə təyin edərək daxil edin.
3. Təsiretmə vaxtının qiymətini **Action Time mks** vasitəsilə təyin edərək daxil edin. Razılaşmağa görə ilkin olaraq 22 mks götürmək olar.
4. Nümunə səthinin nöqtələri arasındakı məsafənin qiymətini (litoqrafiyanın addımını) **Step X, Y nm** vasitəsi ilə təyin edərək daxil etməli. Razılaşmaya görə bu parametr səthin relyefinin əvvəlki ölçmələrindəki skanetmə addımına bərabər götürülür. Litoqrafiya addımının dəyişməsi **Step X, Y nm** litoqrafiya şəklinin alınması zamanı səth sahəsinin dəyişməsində özünü göstərir.
5. **Projection** düyməsini sıxaraq şəkil-şablonun skanedilmiş səth sahəsində çəkilməsi və səthə təsiretmə matrisinin formalaşması baş verir. Bundan sonra istifadəçi litoqrafiya yerinə yetiriləsi sahənin vəziyyətini dəyişə bilər. Bunu skanetmə sahəsinin tam sərhədləri daxilində çərçivəni dəyişməklə etmək olar. Ancaq bunları etmək məsləhət görülmür. Əgər yeni skanetmə sahəsi verilmiş əvvəlki sahə ilə üst-üstə düşürsə, onda **Apply** düyməsi qırmızı rənglə rənglənmiş olacaq və buna görə də verilmiş parametrlərin təsdiq (qəbul) olunması üçün onu sıxmaq lazımdır.
6. **Scanning** pəncərəsində **RUN** düyməsini sıxmalı. Bundan sonra litoqrafiya prosesi başlayır, **Scanning** pəncərəsinin aşağı sağ sahəsində səthin əks olunması, litoqrafiyanın yerinə

yetirilməsini göstərəcəkdir. Şəkil-şablondakı qara rəngə uyğun nöqtələrdə **Action** təsir etmənin maksimal mümkün dərinlik qiymətinə bərabər amplitudla nümunə səthini zond döyəcəlyir və bu zaman xarakteristik səs eşidiləcəkdir.

**Scanning** pəncərəsinin sol hissəsində skanedicinin əks gedişində ölçmələrin nəticəsi kimi səthin şekli alınacaq. Beləliklə istifadəçi litoqrafiya apararkən səthə təsir etmənin nəticələrini dinamik nəzarət etmək imkanına malikdir.

Litoqrafiyanın yerinə yetirilməsi prosesində nümunəyə maksimal dərinliyə təsir etməni (**Action**) 2 və ya 4 dəfə artırmaq olar.

Litoqrafiya prosedurasını yerinə yetirdikdən sonra aparılmış təsirlərin nəticələrini yoxlamaq lazımdır. Litoqrafiya aparılmış və ya böyük sahə səth hissəsinin skanedilməsini yerinə yetirmək lazımdır.

**NanoEducator** cihazında litoqrafiyanı yerinə yetirmək üçün ucunun əyrilik radiusu 100nm dən böyük olmayan zondla, skanetmənin sürəti 2000nm/s, **Action** təsir etmənin qiyməti 100-dən 1000nm-ə qədər, litoqrafiya nöqtələri arasındakı addımlar ~100nm olmaq şərti ilə aparılması məqsədəuyğundur.

### 5.3. Metodik göstərişlər

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

### 5.4. Tapşırıq

#### I Hissə

1. Litoqrafiyanın yerinə yetirilməsi üçün nümunə səthi üzərində səth hissəsini seçin.
  - 1.1. Tədqiq olunan nümunəni altlıqda yerləşdirin.
  - 1.2. **NanoEducator** cihazında ölçən başlığın yuvasına zond çeviricini yerləşdirin.

- 1.3. **NanoEducator** cihazının idarəetmə proqramını işə salın. Skanedici qüvvə mikroskopu (SQM) rejimini seçin.
- 1.4. Zond çeviricisinin amplitud-tezlik xarakteristikasını təyin edin və işçi tezliyi daxil edin.
- 1.5. Zondun nümunəyə(yaxınlaşmasını) əl və vint vasitəsilə 1mm məsafəyə qədər yaxınlaşdırın.
- 1.6. Qarşılıqlı təsirin alınmasını

**-Amplitud Suppression = 0,3:**

**-Feed Back Loop Gain = 3.**

qiymətlərində yerinə yetirin.

- 1.7. Skanetmə pəncərəsini açın. Litoqrafiyanı yerinə yetirmək üçün şəkil-şablon (**nanoworld.bmp**) verilənlərinə əsasən skanetmənin lazımı parametrlərini daxil etməli. Skanetmə sahəsinin işçi ölçülərini  $10 \times 10$  mkm<sup>2</sup>, skanetmə nöqtələrinin sayının şəkildə piksellərin sayına bərabər verilməsi məqsədəuyğundur.



**Şəkil 5-9. Dinamik qüvvə litoqrafiyanı yerinə yetirmək üçün şablon - şəkil. nanoworld.bmp faylındakı ölçüsü 180x180 piksel olan şəkil**

- 1.8 Nümunə səthinin işçi hissəsinin SZM şəklini almalı. Alınmış nəticələri saxlamalı.
- 1.9 Zondun yerləşdiyi cari nöqtədə spektroskopiyanı yerinə yetirin. Zond və nümunə arasındakı məsafəni qiymətləndirin.
- 2.0 Test şəklinin litoqrafiyasını yerinə yetirin. Səthin seçilmiş işçi hissəsində **nanoworld.bmp** şəkli üçün litoqrafiya prosesini yerinə yetirin. Səthə zondun maksimal təsir dərinliyini, səthin hamarlığının qiymətlərindən böyük qiyməti **Action** nm-lə



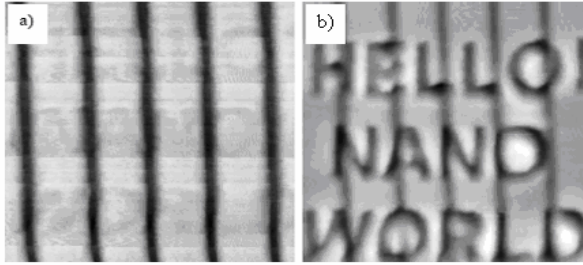
təyin edərək daxil edin (kompakt diskin səthində cıgırların dərinliyi) və zond-nümunə arasında qiymətləndiril-miş məsafədən 10-50% böyük olmasını nəzərə almalı.

- 3.0 Litoqrafiyanın yerinə yetirilməsinin nəticəsi kimi səth hissəsinin topoqrafiyasının şəklinin alınması.
- 3.1 Litoqrafiya prosesi qurtardıqdan sonra **Scanning** pəncərəsinin sağ aşağı hissəsində **Topography** imkanını seçməli.
- 3.2 Skanetmənin parametrlərini dəyişmədən və skanetmə sahəsini dəyişmədən litoqrafiya aparılmış səth hissəsi üçün topoqrafiya ölçülərini aparın. Skanetmənin kənara çıxmaları nəticəsində litoqrafiya şəklinin qismən dəyişməsi halında skanetmə sahəsini artırmalı. Nəticədə aparılmış litoqrafiya işçi hissəni tamamilə əhatə etmiş olsun.
- 3.3 Nümunə səthinin işçi hissəsinin SZM şəklinin (Şəkil 5-10) alınması. Alınmış nəticələrin saxlanması.
- 3.4 Litoqrafiya şəklinin keyfiyyətini qiymətləndirin. Şəkil 5-10 dan görünür ki, təzyiqlə dərinlik kifayət deyil. Bu Şəkil 5-10b-də aydın görünür. Bu bəzi sahələrdə materialın səthində təzyiqlə müşahidə olunur. Yəni təsir etmənin dərinliyi azacıq çox olmuşdur.
- 3.5 Zondun nümunəyə maksimum dərinliyə təsirinin parametrlərinin dəyişməsinə nəzərə almaqla litoqrafiya prosesinin təkrar olunması zəruri olarsa bunu etməli (**Action**).

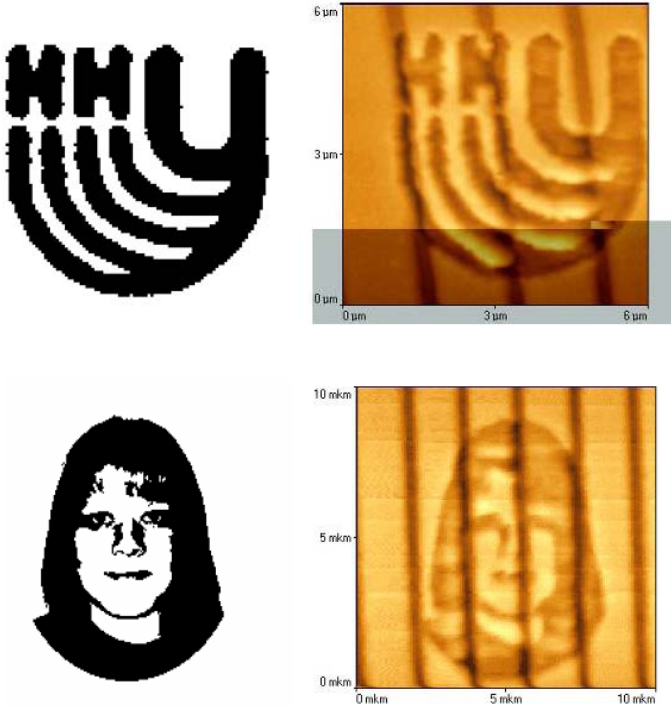
## II Hissə

### 4. Müəlliflik şəklinin litoqrafiyası

- 4.1. Litoqrafiya üçün aşağıdakı xarakteristikaları olan şəkil hazırlayın: **\*.bmp** formasında saxlanmış qara-ağ şəkil(iki rəngli 200x200piksel, 50-100 piksel/düyüm mümkünlüyü) Şəkil 5-10-da litoqrafiyanın yerinə yetirilməsi şəkil-şablonlar üçün AQM səthi hissəsinin topoqrafiyasının şəkillərinin mümkün variantları göstərilmişdir.
- 4.2. I hissədə edilmiş zəruri əməlləri yerinə yetirin. I hissədə işçi parametrləri optimal seçərək müəlliflik şəkillərinin litoqrafiyasının yerinə yetirilməsi çalışmasını edin.



Şəkil 5-10. Səth hissəsinə SZM vasitəsi ilə 300nm (a) dərinliyə və 1000nm (b) olanda litoqrafiyanın aparılması şəkli(skan etmənin ölçüləri 10x10 mkm<sup>2</sup>)



Şəkil 5-11. NanoEducator cihazında səth hissəsinin litoqrafiyasının mümkün şablon (solda) və topoqrafiya variantları (sağda)

### 5.6. Yoxlama sualları

1. Skanedici zond mikroskopu informasiyanın oxunması və yazılması üçün bir alətdir. Zond nanotexnologiyasının fiziki əsasları haqqında danışın.
2. Skanedici zond litoqrafiyası nədir? Onun əsas növləri haqqında danışın.
3. **NanoEducator** cihazında dinamik qüvvə litoqrafiyasının xüsusiyyətləri haqqında danışın.
4. Dinamik qüvvə litoqrafiyasının aparılması üçün nümunələrin seçilməsi kriteriyalarını deyin.