

## MÜHAZİRƏ – 4

**Nanodünyanın birölçülü (nanoiplər, nanomillər, metal nanonaqillər), ikiölçülü (nanolaylar, nanosəthlər və heteroquruluşlar) nümayəndələri.**

**Nanokompozit, nanokristallik və nanoməsəmli materiallar.**

**Maqnit nanomaterialları. Ferromaqnit mayelər.**

**Nanotexnoloji alətlər.**

### **Nanoiplər (viskerlər), nanomillər və metal nanonaqillər**

Nanodünyanın öz “saçları” vardır və onlar *nanoiplər* (və ya viskerlər) adlandırılır (“whisker” ingilis dilində bıç, saç deməkdir). Kristallik nanoiplər adi insan saçından qat-qat nazik olub, diametrləri bir neçə nanometrdən mikrona kimi qiymətlər alır. Onun uzunluğunun diametrinə nisbəti 1000-dən böyük olur.

Viskerlər mikroquruluş defektlərinin azlığı ilə xarakterizə olunduqları üçün, onlar rekord dərəcədə yüksək sıxlığa malikdirlər. Onların məhz bu xassəsindən lifləri möhkəmlətmək üçün istifadə edirlər. Məsələn, SiC viskerləri kompozit materialların mexaniki xassələrini yaxşılaşdırır. Bundan başqa, nanoiplər həm də böyük səth sahəsinə malikdirlər. Belə ki, nanoiplərin hörülməsindən əmələ gələn keçə qeyri-adi “tüklülü” ilə fərqlənir. Ona görə də viskerlərdən katalizator, sorbentlər<sup>1</sup> və filterlərdə istifadə edilməsi daha məqsədəuyğun hesab edilir.

Nanodünyanın digər nümayəndələrindən biri də nanomillərdir. Nanoiplərdən fərqli olaraq, nanomillər daha sərt quruluşa malikdirlər. Nanoiplərlə nanomilləri bir-birindən fərqləndirmək üçün, adi karandaş və məftil analogiyasından istifadə etmək kifayətdir (burada karandaş nanomil, məftil isə nanoipdir).

Nanomillərdə nanoiplərdən fərqli olaraq həcmli materialın bütün xassələri saxlanılır. Bundan başqa, nanomillərdə atomların sayının az olması və həndəsi anizotropluğu, onlarda 1D sisteminə xarakterik xassələrin yaranmasına gətirir.

Nanomillərin tətbiq sahələri də nanoiplərlə müqayisədə daha genişdir. Buna misal olaraq bio-tibbi diaqnostikanı, lazer və foto-detektorların hazırlanmasını göstərmək olar. Hal-hazırda kadmium-sulfid (CdS) nanomilləri əsasında yaradılan günəş batareyalarından dünyanın bir çox ölkələrində geniş istifadə olunur.

Daha bir maraqlı fakt ondan ibarətdir ki, məhlula yeridilmiş nanomillərin konsentrasiyasından asılı olaraq, izotrop quruluşlarla yanaşı, maye kristallara<sup>2</sup> xas nizamlı - ikiölçülü nematik<sup>3</sup>, ikiölçülü smektik<sup>4</sup> və üçölçülü nematik quruluşlar almaq olar.

<sup>1</sup> bir sıra kimyəvi elementlərin udulması üçün istifadə olunan elementlərə sorbentlər deyilir

<sup>2</sup> Maye kristallar naye kimi axıcılıq xassəsinə, kristallar kimi isə nizamlı quruluşa malikdirlər. Bu termin elmə ilk dəfə Leman tərəfindən gətirilmişdir.

<sup>3</sup> “Nema” sözü yunanca sap deməkdir. Nematik maye kristalların mikroskop altında görünüşü nazik saplar və qara quyruqlar çıxan nəqtələr kimi olur.

<sup>4</sup> “Smeqma” yunanca tərcümədə sabun deməkdir və görünüşcə sabun köpüyünü xatırladır.

Nanodünyanın nanomillər və nanoiplərdən başqa, digər birölçülü nümayəndəsi metal nanonaqillərdir. Metal nanonaqillər özlərinin elektrikkeçirmə xassələri hesabına elektrik dövrəsində birləşdirici naqillər qismində istifadə edilə bilər. Bundan başqa, metal nanonaqillərdə kvant keçirici xassələrinin olması, onlardan nanoelementlər üçün aktiv element kimi də istifadə edilməsini zəruri edir.

Metal nanonaqillərdə əmələ gələn tranzistor effekti<sup>5</sup> hesabına onlar əsasında elektron qurğuları da yaratmaq mümkündür.

### **Nanolaylar, nanosəthlər və heteroquruluşlar**

Nanodünyanın ikiölçülü nümayəndələri isə nanolaylar və nanosəthlərdər. Hər biriniz yəqin ki, gölməçə üzərində göy qurşağına bənzər mənzərənin şahidi olmusunuz. Yay fəslində çimərliyə gedənlər də belə bir mənzərəni görməmiş olmazlar. Bu, benzinin su üzərində yayılmasından əmələ gələn səthə daha çox oxşayır. Belə səthin qalınlığı bir neçə atomdan çox olmur. Bu cür səthlər də nanotexnoloji obyektərdən biri sayılır.

Ən nazik belə səthlər bir atom layından ibarət olub, *Lenqmür - Blocet səthləri* adlanır. Bu termin su-hava (ümumi halda, maye-hava) sərhəddindən bərk altlıq üzərinə çökdürülmüş mono-, və ya çoxsaylı laylardan ibarət səthlərə şamil edilir. Bu cür səthlərin formalaşma prosesi öz-özünə qablanma qanununa tabedir.

Su-hava sərhəddində amfifil molekulardan<sup>6</sup> ibarət ilk monolay 1917-ci ildə Lenqmür tərəfindən alındığı üçün, onun şərəfinə olaraq Lenqmür səthi adlandırılır. 1935-ci ildə isə Blocet tərəfindən ilk dəfə olaraq karbon turşusunun uzun zəncirindən ibarət çoxlaylı səth bərk altlıq üzərinə çökdürülmüşdür.

Lenqmür-Blocet səthlərinin unikalılığı – qeyri-adiliyi kristallik quruluşa malik olmayan materialın bərk səth üzərində tənzimlənən quruluşun formalaşma bilməsindən ibarətdir. Bu isə monolayın müxtəlif altlıqlar üzərinə çökdürülməsini mümkün edir. Altlıq kimi əsasən, şüşə, kvars, qızıl, gümüş, və bir sıra yarımkeçiricilərdən istifadə oluna bilər.

Yarımkeçirici materiallardan yaranan səthlər, və ya laylara isə *heteroquruluşlar* deyirlər. Heteroquruluşlar yarımkeçirici fizikası termini olub, altlıq üzərində qadağan edilmiş zonanın eninə görə bir-birindən fərqlənən müxtəlif yarımkeçiricilərdən yaradılmış laylı quruluşa deyilir.

Heteroquruluşlar onlarca yarımkeçirici laylardan ibarət olur və onların qalınlığı bir neçə nanometrdən çox olmur. Bu quruluşlardan, əsasən, müasir mikroelektronikada geniş istifadə edirlər.

2000-ci ildə rus alimi J.İ.Alferov ilk heteroquruluş yaratdığı üçün Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

<sup>5</sup> Tranzistor effekti nanonaqıldən keçən cərəyana perpendikulyar olan xarici elektrik sahəsinin onun keçiriciliyindən asılılığına deyilir.

<sup>6</sup> amfifil molekulalar həm polyar, həm də qeyri-polyar mühitlərdə həll ola bilən molekulalara deyilir.

Hal-hazırda “heteroquruluşlar” terminindən bir-birini əvəz edən yarımkeçirici quruluşlarla yanaşı, həm də bir-birinə əks xarakteristikalara malik laylardan yaradılmış quruluşlarda da istifadə edirlər.

Ən maraqlısı F/S<sup>7</sup> heteroquruluşlarıdır ki, burada ferromaqnetik (F) laylarının yüksək keçirici (S) layları ilə əvəz edilməsi təbiətdə rast gəlinməyən xassələrə malik quruluşun yaranmasına səbəb olur.

### **Nanokompozit və nanokristallik materiallar**

İlk öncə kompozit terminini aydınlaşdıraq. “compose” termini infilis dilindən tərcümədə düzəltmək, quraşdırmaq mənasını verdiyi üçün, materialşünaslıqda kompozit materiallar dedikdə formasına, kimyəvi tərkibinə görə bir-birindən fərqlənən və bir-birinə qarışmayan iki və ya daha çox mikro- və ya makro- hissələrdən əmələ gəlmiş materiallar başa düşülür. Eyni tərifə nanokompozit materiallara da şamil etmək mümkündür. Lakin nanokompozit materiallar adı kompozit materiallardan yalnız ölçülərin nanometr diapazonunda yerləşmələri ilə deyil, həm də bir-birinə birləşən müxtəlif hissələr arasındakı məsafənin (fazaların) 10-larca nm-dən çox olmamaları ilə fərqlənilir. Bundan başqa, son illər mətbuatda gedən bir sıra elmi işlərdən aydın olur ki, kompozit materialların komponentlərindən birinin ölçüləri 1, 2 və ya 3 istiqamətdə 100 nm həddini aşmırsa, belə materialları da nanokompozit materiallar adlandırmaq olar.

Nanokompozitin həcmi təşkil edən əsas materialın növündən asılı olaraq onu 3 kateqoriyaya ayırırlar: 1. Keramik əsaslı nanokompozitlər (bunlar ilkin materialın elektrik və optik xassələrini yaxşılaşdırır); 2. Metallik əsaslı nanokompozitlər (bunlar ilkin materialın elektrik keçiriciliyini və sərtliyini artırır); 3. Tərkibi müxtəlif formalı nanozərrəciklərdən ibarət polimer əsaslı nanokompozitlər (bunlar ilkin polimerin bir çox xassələrini gücləndirir). Məhz bu kateqoriyadan olan nanokompozit materiallar texnikada daha çox istifadə olunan materiallardır.

Kompozitləri digər nanoquruluşlardan fərqləndirən əsas cəhət ondan ibarətdir ki, burada fiziki-kimyəvi xassələrinə görə bir-birindən fərqlənən materiallar birləşərək öz məxsus olduqları xassələrindən daha mükəmməl xassələrə malik materiallar yaradırlar və bu materiallar həm tibbi-biologiyada, həm də elektronikada geniş tətbiq sahəsinə malikdirlər.

Bəs nanokristallik materiallar nədir? Nanokristalların nə olduğunu nanoquruluşların təsnifatı bölməmizdə izah etmişdik. İndi isə nanokristallik materiallar haqqında danışaq.

---

<sup>7</sup> Bilirik ki, yüksək keçiriciliklə ferromaqnetizm bir-birini inkar edən təbiət hadisələridir: yüksək keçiricilik maqnit sahəsini “itələməyə” can atır (Maysner effekti), ferromaqnetik isə, əksinə, sahənin qüvvə xətlərini öz həcmində cəmləyir (maqnit induksiya effekti). Ona görə də belə heteroquruluşlardan elektronikada eyni zamanda həm məntiqi element kimi, həm də yüksək keçirici cərəyan üçün dəyişdirici açar kimi istifadə etmək olar. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, yüksək keçiriciliyi zəif xarici maqnit sahəsi vasitəsilə tənzimləmək də mümkündür.

Əvvəllər atom və molekul dedikdə, biz cisimləri yarada bilən “kərpiclər” başa düşürdük. Sən demə cismi yalnız kərpiclərdən deyil, həm də müxtəlif kərpiclərdən ibarət bloklardan da “yığmaq” mümkündür. Bloklar rolunda nanoklasterlər və nanozərrəciklər çıxış edə bilirlər. Bu o deməkdir ki, müxtəlif formalı nanoölçülü bloklardan yığılmış kristallik materiallar **nanokristallik materiallar** adlanır.

Nanokristallik materiallar qeyri-adi xassələrə malikdirlər. Biz fizika və kimya fənnindən öyrənmişdik ki, əgər material möhkəmdir, o mütləq kövrək olmalıdır. Sən demə bir sıra nanokristallik materiallar eyni zamanda həm möhkəm, həm də plastik olmaqları ilə digər materiallardan fərqlənirlər.

### Nanoməsəmli quruluşlar

“Məsəm” sözü **yunanca** *porus* sözündən götürülüb **keçid, kanal** mənasını verir. Bildiyimiz kimi, məsəmli materiallar həcmində çoxlu sayda boşluqlarla xarakterizə olunurlar. Məsəmli materialların əsas xarakteristikaları məsəməlikdir:

$$\rho = \frac{V_{m\acute{a}s}}{V} 100\%$$

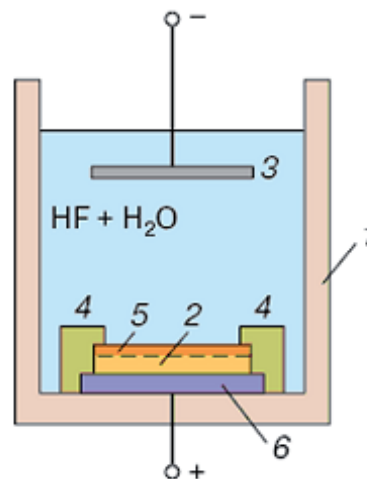
Burada  $V_{m\acute{a}s}$  – məsəmələrin həcmi,  $V$  – materialın həcmidir.

Bəzi məsəmli materiallarda məsəməlilik dərəcəsi 80-90 % ola bilər. Bundan başqa məsəmli materiallar öz boşluqlarını su, digər maye və qazlarla doldura bilirlər. Ona görə də məsəmli materiallardan filtrlər, sitlər və sorbentlər kimi istifadə olunur.

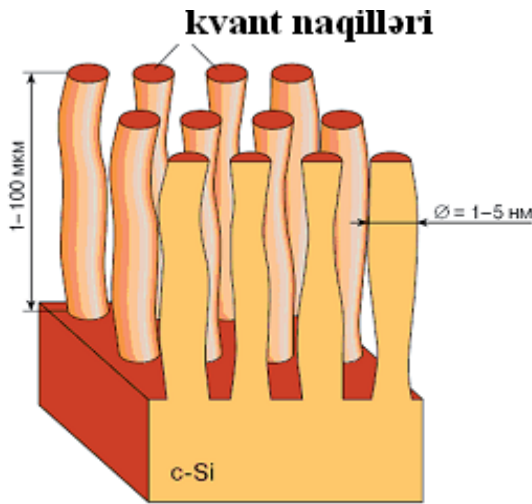
Məsəmli materiallara ən gözəl misal məsəmli silisiumdur. Məsəmli silisium elektronikanın bir çox oblastlarında, o cümlədən, təmiz silisiumda mümkün olmayan görünən işıq mənbəyinin yaradılması üçün perspektivli hesab edilir.

Məsəmli silisium anod aşınması üsulu ilə alınır. Bunun üçün monokristallik silisium lövhə, tərkibində flüorid turşu məhlulu olan xüsusi qaba - özəyə qoyularaq, “+” elektroda (yəni anoda) birləşdirilir. Bundan sonra sabit elektrik cərəyanı verilir.

Anod aşınma üsulu:  
1-özək (qab), 2-silisium,  
3-katod, 4-izolyator,  
5-artan məsəmli lay,  
6-anod



Müəyyən vaxtdan sonra elektrik cərəyanı və ftor ionları lövhənin səthini aşılıyır və nəticədə silisiumun dərinliyinə qədər uzanan şaquli məsamələr əmələ gəlir. Sonra qonşu məsamələr birləşərək nanometr tərtibli silisium sütunları yaranır. Cərəyanı və ftor ionlarının konsentrasiyasını dəyişməklə aşınma prosesini tənzimləmək və lazımi ölçüdə məsamələr almaq olar. (Şəkildə məsaməli silisiumun alınma modeli verilib)



**Nanoməsaməli maddələr** məsamələrinin ölçüləri nano tərtibində ( $1 \div 100$  nm) olan cisimlərə deyilir. Təbiətdə mikro-, mezo- və makroməsaməli materiallar da var ki, onların məsamələrinin ölçüləri mikrometr diapazonunda olur.

Nanomateriallarda məsamələrin ölçülərini kiçiltməklə onlarda kimyəvi elementləri sorbsiya edən və filtrləşdirə bilən yeni qabiliyyətlər meydana çıxır.

| Məsamələrin növü | Məsamələrin diametri (mkm) |
|------------------|----------------------------|
| Mikroməsamələr   | $d < 2$                    |
| Mezoməsamələr    | $2 < d < 50$               |
| Makroməsamələr   | $d > 50$                   |

Təbiətdə də məsaməli quruluşlara rast gəlmək mümkündür (məsələn, seolitlər). Ölçüləri nanometr tərtibində olan və kimyəvi birləşmələrin molekullarını “ələyə bilən” ilk molekulyar ələklər 1992-ci ildə *Mobile Research and Development Corporation* amerika kompaniyasının tədqiqatçıları tərəfindən yaradılmışdır.

Tərkibində bərabər şəkildə nanozərrəciklər həll olunmuş maye fazasından ibarət sistemə isə **nanodispersiyalar** deyilir.

Nanodispersiyadan əsasən tibbdə və kosmetikada geniş istifadə olunur. Sən demə cavanlaşdırıcı, qırıqları azaldan kosmetik preparatlar hüceyrəyə nanodispersiyalarla daha asan daxil ola bilirlər.

Maye fazasında həll olunan nanozərrəciklərdən həm də dərmanların “ünvanlı daşınmasında” da istifadə etmək olar. Bunun üçün dərman preparatları ya nanozərrəciyin səthinə “birləşdirilməli”, ya da onun bütün həcmi boyu yerləşdirilməlidir. Bu zaman nanozərrəcik dərman preparatı üçün nəqliyyar rolunu oynayır və həmin dərmanı “xəstə orqan” olan “dayanacaqda düşürür”.

## Maqnit nanomaterialları. Ferromaqnit mayelər

Maqnit nanomaterialları dedikdə, məsamələrində ferromaqnit nanozərrəciklər olan məsaməli diamaqnetiklər başa düşülür. Buna əyani misal olaraq canlı orqanizmdə dəmirin qorunmasına cavabdeh olan xüsusi zülalı – ferritin molekulunu göstərmək olar.

Ferritin diametri 12 nm, şar formasına malik, 24 kiçik hissələrdən ibarət molekuldur. Şarın daxili diametri isə 8 nm-ə bərabərdir. Şarın daxilindəki boşluq FeOOH – yəni oksidhidroksid dəmir nanozərrəcikləri ilə doldurulmuşdur. Bir ferritin molekulu öz daxilində 4000 və daha çox dəmir atomu saxlaya bilər. Bu o deməkdir ki, ferritin orqanizmdə dəmir saxlayan universal depodur.

Orqanizm tərəfindən tələbat hiss olunduqda ferritin molekulunun 5 nm ölçüyə malik məsamələrindən dəmir çıxaraq qana düşür və gemoqlobinin sintezinə sərf olunur. Lakin ferritin tərəfindən qana dəmirin nə vaxt ötürülməsi tələbatının necə müəyyən olunduğu mexanizm hələ də elmə məlum deyil.

Ferromaqnit materiallar içərisində xüsusi yeri *ferromaqnit mayelər* tutur. **Ferromaqnit mayelər üzvi həlledicinin və suyun tərkibinə salınmış nanoölçülü ferromaqnit və ya ferrimaqnit zərrəciklərindən ibarət kolloid sistemlərə deyilir.** Bu mayelər maqnit sahəsində güclü polyarlaşmaya məruz qalırlar. Onlara həm də maqnit maye və ferrofluid də deyirlər.

Ferromaqnit mayelər yaratmaq üçün, əsasən Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> maqnetit nanozərrəciklərindən, və ya ferritlərdən istifadə edilir. Onlar səthi-fəal maddələrlə birləşərək, zərrəcik ətrafında qoruyucu örtük əmələ gətirir və bu səbəbdən də Van-der-vaals, və ya maqnit qüvvələri hesabına zərrəciklərin bir-biri ilə birləşməsinin qarşısı alınır, yəni mayelər öz stabilliyini saxlayır. Maqnit mayələrinin unikalığı da məhz bununla izah edilir. Belə ki, onlar bir neçə il öz dayanıqlı xüsusiyyətlərini saxlaya bilirlər. Bu mayelər yaxşı maqnit xassələri ilə yanaşı, yüksək axıcılıq xassələrinə də malikdirlər.

Bu mayələrin ferromaqnit mayelər adlandırılmalarına baxmayaraq, xarici maqnit sahəsi olmadıqda onlar ferromaqnit xassələri biruzə vermirlər. Əslində FM paramaqnetiklərdir və onları yüksək maqnit hərisliyinə görə çox vaxt “superparamaqnetiklər” adlandırırlar.

Ümumiyyətlə, sözün əsil mənasında ferromaqnit mayelər yaratmaq çox çətinidir.

Hal-hazırda maqnit mayələrdən texnikada mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirmək üçün istifadə olunur. Əgər tərkibində maqnit maye olan ampulanı kondensatorla birləşmiş induksiya çarxının daxilinə yerləşdirsək, onda ampulanın hər sirkələnməsində maye yerini dəyişəcək, yəni yuxarı-aşağı çalxalanacaq və onun zərrəcikləri hər çalxalanmada maqnit sahəsi istiqamətində yönələcək. Bu zaman ayrılan enerji ilə radioqəbuledici, cib saatları və s. mexanizmləri işlətmək olar.

Maqnit mayələrinin bu xassələrindən gələcəkdə yağış damcılarının enerjisini elektrik cərəyanına çevirən qurğuların hazırlanmasında istifadə edilməsi nəzərdə tutulur. Bundan başqa, torpaqda qazılmış xüsusi kanalları maqnit mayesi ilə doldursaq, onda onun zərrəcikləri Yer in maqnit sahəsi boyunca yönələrək, bu

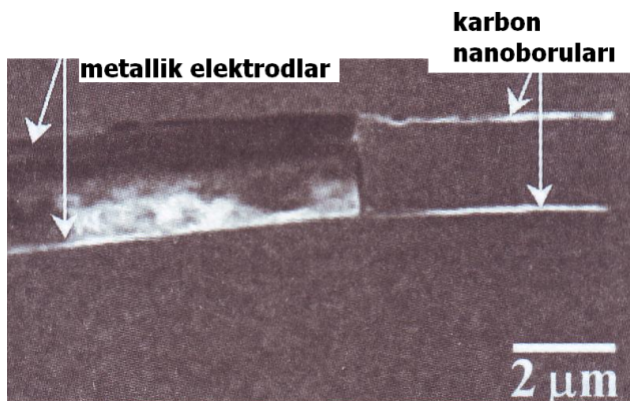
enerjini çarxa ötürəcək. Beləliklə, Yer in maqnit sahəsi elektrik sahəsinə çevriləcək. Artıq bu tip sistemlərdən bir çox ölkələrdə şəhərtrafi evlərin elektrik enerjisi ilə təmin edilməsində geniş istifadə olunur.

### Nanotexnoloji alətlər

Hansı sənət sahibi olmasından asılı olmayaraq, həmin sənətdə yüksək səviyyəli mütəxəssis olmaq üçün, mütləq ona aid spesifik alətlərin olması vacib şərtədir.

1991-ci ildə karbonun yeni modifikasiyasının – karbon nanoborularının (KNB) kəşfi ilə, alimlər tərəfindən nanotexnoloqların hal-hazırda istifadə etdikləri alətlər (nanoiynələr, nanotermometr, nanopinset, nanobıçaq, nanotərəzi və s.) yaranmağa başladı. Məhz bu alətlər nanotibbin, mikrobiologiyanın inqilabi yüksəlişinə təkan vermiş, nanoquruluşların yaranmasında hal-hazırda istifadə olunan yeni yanaşma metodlarından birinin – nanolitoqrafiyanın sürətlə inkişafına səbəb olmuşdur.

İlk nanoalət 1999-cu ildə Harvad universitetinin tədqiqatçıları tərəfindən yaradılmış karbon nanoboru əsaslı **nanopinset (nanomaqqaş)** olmuşdur. Onun vasitəsi ilə, çinlilərin nahar zamanı istifadə etdikləri taxlalar kimi, ayrı-ayrı molekulları “tutmaq” və lazım olan yerə aparmaq mümkündür.



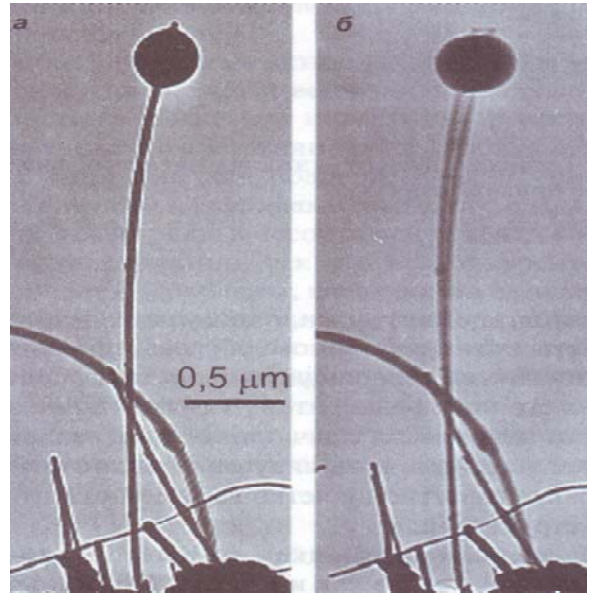
Nanopinset, hər iki tərəfdən bir-biri ilə kontakta girməyən və üzəri konus formalı şüşə pipetka (damçıtökən) ilə örtülmüş qızıl elektroddan ibarətdir. Bu elektrodun ucları isə diametri ~50 nm tərtibində olan çoxsaylı karbon nanoborusu ilə birləşib. Elektrodun çox yüksək olmayan ~ 8V tərtibində gərginlik verildikdə, boruların ucları

elektrostatik qüvvələr hesabına bağlanaraq, ixtiyari molekulu götürə bilər. Gərginlik kəsildikdə isə, pinsetin ağızı açılaraq, molekulu istədiyimiz yerə qoymaq imkanı yaradır. Daha sonra yaradılan **optiki nanopinsetlər** də analoji işi yerinə yetirir, lakin bu zaman pinseti işlətmək üçün lazer şüasından istifadə olunur.

Nanopinsetlərdən sonra dünyada ən həssas tərəzi - **nanotərəzilər** yaranır ki, onlar vasitəsi ilə, hətta ən kiçik molekulların kütləsini ölçmək mümkündür. Nanotərəzinin yaranması da, qeyri-adi elektron və mexaniki xassələrə malik karbon nanoborularının kəşfi ilə sıx bağlıdır. KNB-nun bir ucu tərپənmez, digər ucu isə sərbəst vəziyyətə gətirilsə, və ona xarici gərginlik verilsə, əlbəttə ki, induksiyanlanmış zərrəciklər sərbəst ucu daha çox toplanacaq və elektrostatik qüvvənin təsiri altında nanoboru öz tarazlıq vəziyyətindən kənara çıxacaq. Ardıcıl olaraq mənfi və müsbət gərginliklər verilməklə, borunun “dolma-boşalma” tsiklini həyata keçirmək olar. Verilən gərginliyin tezliyini dəyişməklə, nanoborunun məxsusi rəqslərinin tezliyinə uyğun rezonans almaq mümkündür ki, bu da dəqiq

ölçü aparmaq üçün gözəl imkandır. KNB-nun rəqslərinin rezonans tezliyi onun məxsusi (individual) xarakteristikası olub, diametrlə, uzunluqla, əyilmə möhkəmliyi ilə təyin edilir.

Məhz bu prinsip əsasında 2000-ci ildə amerikanın *Georgia Institute of Technology* alimləri tərəfindən ilk nanotərəzi yaranır. Əgər hər bir nanoborunun məxsusi rəqslərinin tezliklərini müəyyən etsək və sonra ona tədqiq etdiyimiz nanonümunəni birləşdirsək, onda rəqslərin rezonans tezliyinin “yüksüz borularla” müqayisədə 40%-ə qədər endiyini müşahidə etmək olar. Buna əsaslanaraq yüksək dəqiqliklə, hətta  $10^{-15}$  q-a kimi kütlələri ölçmək mümkün olmuşdur. Bunun üçün hər nümunəyə uyğun KBN-nu kalibrləmək kifayətdir.



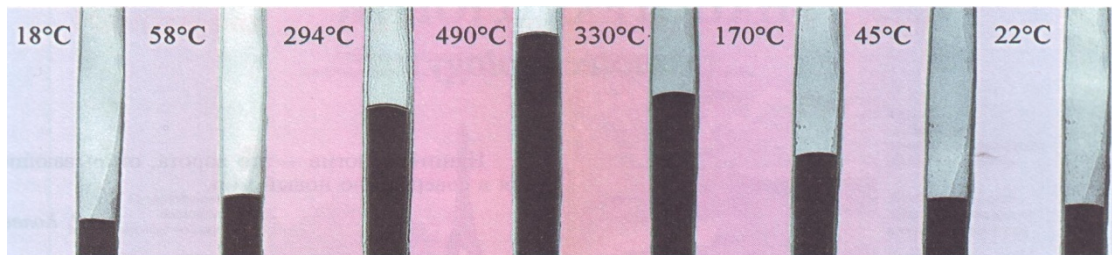
Nanotərəzinin ardınca isə, adi tibbi termometrlərə oxşar **nanotermometr** yaradıldı. 1593-cü ildə Qalileo Qaliley tərəfindən ilk civə termometri yaranan andan bu günə kimi, bir çoxları onun işləməsinə səbəb olan fiziki prosesin (termik genişlənmənin) mahiyyətinə varmayıb. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunub ki, temperaturu ölçmək üçün, temperaturdan asılı olaraq materialın həcmının dəyişmə effektindən başqa, həm də digər temperatura-həssas xassələrdən də, məsələn, elektromaqnit şüalanmasından istifadə etmək olar. Bu zaman yalnız bir şərt – prosesin dönən olması ödənməlidir.

Son illər nanotexnologiyaların inkişafı ilə bir çox elektron, və ya bioloji obyektlərin (hüceyrələrin, integral sxemlərin) temperaturunu ölçən termometrlər yaradılmış və yaradılmaqda davam edir. Bunun üçün bimetallik nanosensordən istifadə edilir. Nanosensordən, əsasən, bir metal səthin digər metal səth üzərinə ya litoqrafiya üsulu ilə, ya da qaz fazasında “oturdulma” üsulu ilə alırlar. Bu cür nanosistemlər temperatur dəyişmələrinə qarşı yüksək həssaslıqları ilə xarakterizə olunur. Məsələn, Pt/W (platin-volfram) nanosensordən temperatur əmsalı adi termometrindən 130 dəfə çox olub, hətta  $0,001^{\circ}\text{S}$  temperatur dəyişikliklərini fiksə etməyə qadirdir. Optiki nanotermometrlərdə bioloji sistemlərin dərəcələnməsi üçün biouyğunlaşmış kvant nöqtələrindən və modifikasiya olunmuş flüoresensiyaedici nanozərrəciklərdən istifadə edirlər.

Hal-hazırda mövcud olan nanotermometrlər içərisində ən maraqlısı yapon mühəndisləri tərəfindən yaradılmış termometrlərdir. Bu nanoalət KNB əsasında yaradılmış və konstruksiya etibarlı ilə civə termometrindən çox oxşardır. Burada termometrin korpusu kimi uzunluğu 10 mkm, diametri  $\sim 75$  nm olanə bir tərəfi bağlı iç-içə yerləşmiş çoxsaylı karbon nanoborularından, temperatura həssas element kimi isə nanoborunun daxili boşluğunda yerləşdirilmiş metal qalliumdan istifadə olunur. Ölçmələr göstərdi ki,  $50-500^{\circ}\text{S}$  intervalında qallium sütununun



hündürlüyünün temperaturdan asılılığı həm temperatur artanda, həm də düşəndə xətti olur. Bundan başqa, KNB-nun bir başı açıq olduğundan qızma zamanı nanotermometr korpusundakı qalliumun yuxarı hissəsində boru səthinə qarşı yaxşı adgeziyaya<sup>8</sup> malik oksid layı əmələ gəlir. Nəticədə metallik sütunun uzunluğu “oksid markeri” ilə fiksə olunmuş olur. Bu isə, hətta ölçüləri apardıqdan bir neçə saat sonra belə, göstəricini görməyə imkan verir. Bu nanotermometrin yeganə çatışmamazlığı onun miniatür olması ilə bağlıdır. Çünki göstəriciləri götürmək və temperaturu dəqiq qiymətləndirmək üçün elektron mikroskopunun olması vacibdir. Yapon mühəndislərinin bu kəşfi 2004-cü ildə Ginnesin rekordlar kitabına salınmışdır.



Nanotermometrlərlə kifayətlənməyən alimlər – Kolorado universitetinin bir qrup tədqiqatçısı 2006-cı ildə *nanobıçaq* hazırlayırlar. İki volfram iynəsi arasından dartılmış birlaylı KNB-dan ibarət olan nanobıçaq vasitəsi ilə ayrı-ayrı hüceyrələr üzərində cərrah kimi ixtiyari əməliyyatı aparmaq olur.

2007-ci ildə isə amerikanın *Drexel* universitetinin tədqiqatçıları tərəfindən ilk *nanoiynə* yaradılır. Nanoiynə ilə hüceyrə membranını zədələmədən müəyyən mayeləri ixtiyari toxumalara yeritmək mümkündür. Burada iynə rolunu KNB, maye yığılan qab rolunu isə makroskopik şüşə kapilyar oynayır.

<sup>8</sup> **Adgeziya** termini latın sözü “*adhaesio*”-dan götürülüb, yapışma mənasını verir. Fizikada bu termindən müxtəlif tərkibli bərk və ya maye səthlərinin bir-birinə “qoşulması” – yapışması zamanı istifadə edirlər. Adgeziya, əksər hallarda, səthdəki molekullararası qarşılıqlı təsirlərlə (Van-der-vals, polyar), bəzi hallarda isə kimyəvi rabitələrin yaranması, və ya qarşılıqlı diffuziya nəticəsində mövcud olub, səthləri bir-birindən ayırmaq üçün lazım olan xüsusi işlə xarakterizə olunur.