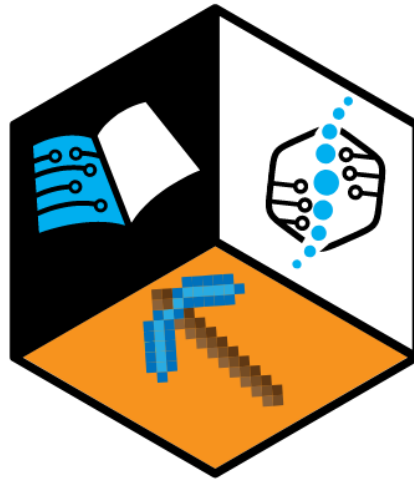


NANOWARE Müfredatı

MODÜL 4: NANOPARÇACIKLARI NASIL GÖRÜRÜZ?

SONUÇ: R1/T1.1



NANOWARE

31.10.2022

Pamukkale Üniversitesi

Yazan: PAU

Proje Numarası 2021-2-PL01-KA220-SCH-000051200



Co-funded by
the European Union

Bu yayının oluşturulması için verilen Avrupa Komisyonu desteği, sadece yazarların görüşlerini yansıtan içeriklerin onaylanması anlamına gelmez ve Komisyon burada yer alan bilgilerden ortaya çıkarılan herhangi bir kullanım için sorumlu tutulamaz.

İçindekiler

1. Giriş Modülü	3
2. Nanoparçacıkları Nasıl Görürüz?	5
2.1 Mikroskop	6
3. Optik/Işık Mikroskobu ile Neler Görebiliriz?	7
4. Atomları Nasıl Görebiliriz? Elektron Mikroskobu	10
4.1 Elektron Mikroskobu	13
4.2 Sonda Mikroskobu	14
4.3 Optik Mikroskobun Çalışması	15
4.4 Mikroskopların İncelenmesi	16
5. Referanslar	17

1. Giriş Modülü

İnsan gözünün görebileceği sınırların kısa bir şekilde özetlenmesinden sonra, mikroskopların farklı türleri ve çalışma ilkeleri bu modülde tanıtılmaktadır. Nanoparçacıklar için görüntüleme ve analiz yöntemleri detaylı olarak açıklanacaktır. Bu modül, mikroskopların türleri ve bunların kullanım alanlarının bir genel bakışı ile tamamlanır.

Tanım

Bu modülde, öğrenciler nanoparçacıklar, bunların tanımı ve çalışma ilkeleri için görüntüleme ve analiz yöntemlerini öğreneceklerdir.

Modül Amaçları

Bu modülü amacı aşağıdaki konular hakkında farkındalığı artırmaktır:

- İnsan gözünün görme sınırları,
- SEM, TEM, AFM ve STM gibi diğer görüntüleme yöntemleri ve ışık mikroskobu kullanımının amacı
- Tüm mikroskopik yöntemler arasındaki farklar.

Öğrenme Hedefleri

Öğrenciler aşağıdakiler yapabilecektir:

- İnsan gözünün görme sınırlarını açıklayabilecek,
- Kendi çalışma ilkeleri ve ışık mikroskopunun kullanım amacının neler olduğu
- Işık mikroskobu kullanarak atomları neden görüntüleyemeyeceğimizi tanımlayabilecek,
- Atomlar ve nanoparçacıkları görüntülemek için kullanabileceğimiz görüntüleme yöntemlerini açıklayabilecektir.

Öğrenme çıktıları

Bu modülü başarılı bir şekilde tamamlanmasından sonra, öğrenciler aşağıdakileri öğrenecektir:

- İnsan gözünün görme sınırları,
- Mikroskopların kullanım amacı ve bunların türleri ve çalışma ilkeleri,
- Atomlar ve nanoparçacıkları görüntülemek için kullanabileceğimiz görüntüleme yöntemleri.



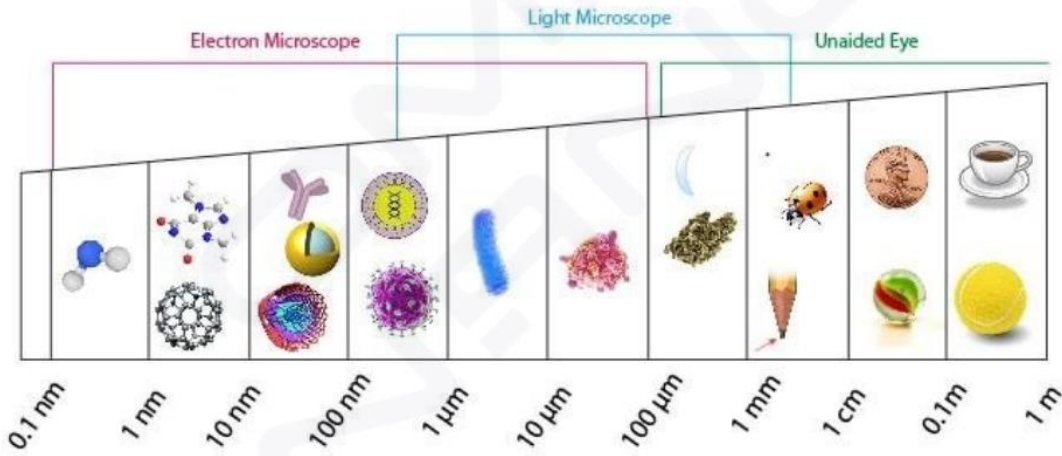
Tahmini oturum süresi

Bu modülün tamamlanması 1,5 saat sürecektir. Bir 30 dakikalık öğretim bölümü ve 1 saatlik laboratuvar oturumu içerir.

2. Nanoparçacıkları Nasıl Görürüz?

İnsan gözünün görme sınırları

İnsan gözü 40 μm 'den (mikrometre) daha küçükleri göremez. ($1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$) Bu boyuttan daha küçük nesneleri görmek için farklı türde mikroskoplar kullanmalıyız.



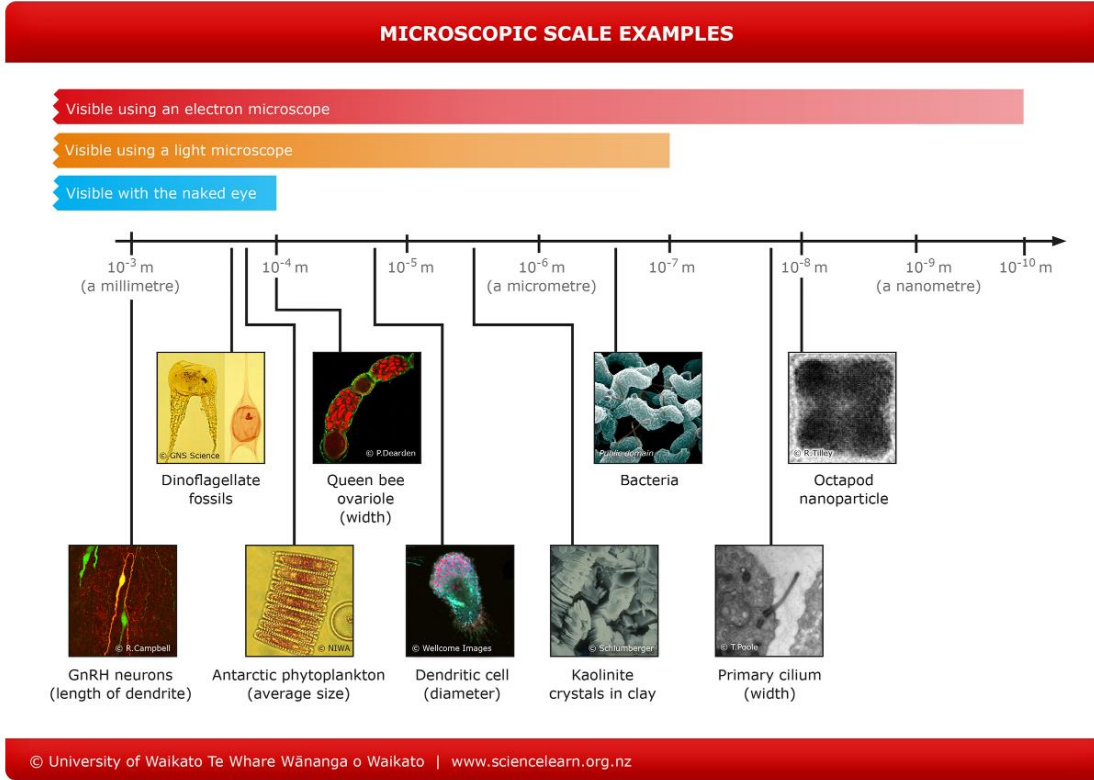
Şekil1. İnsan gözü, optik/ışık mikroskobu ve elektron mikroskobunun görüntüleme aralığı.

Mikroskoplar, çıplak gözle görmek için çok küçük olan canlı veya cansız nesneleri incelemeyi sağlayan optik araçlardır. Küçük nesneleri gözün görme sınırlarına yaklaştırarak çıplak gözle görülebilir hale getirirler. Ökaryotik organizmalar ve bakteriler mikrometre olarak ölçülür, virüsler nanometrede ölçülür ve atomlar ve moleküller angstrom ölçekte ölçülürler.

1 mm = 1000 μm (mikrometre)

1 μm = 1000 nm (nanometre)

1 nm = 1000 Å (angstrom)



Şekil3. Mikroskopik Ölçek Örnekleri (<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/497-the-microscopic-scale>)

3. Optik/Işık Mikroskobu ile Neler Görebiliriz?

Optik mikroskobu veya ışık mikroskobu, küçük nesneleri büyötmek için lenslerden oluşan bir sistemi olan görönr bir ışık kullanır. Işık mikroskobu, çeşitli lensleri kullanarak ve bu lensleri düzenleyerek nesneleri büyötmelerini sağlar. Biyolojik araştırmalarda sıklıkla kullanılan bir araçtır. Işık mikroskopları, kontrast, yoğunluk ve kalınlık farklılıklarına göre, gözlemci tarafından ve lensler tarafından büyötölen görüntünün algısı ve incelenecek olan numune üzerinden geçen bir ışık kaynağından gönderilen görönr dalga boylarındaki ışık ışınlarına dayalıdır.

Optik mikroskop ile 1 mikrona kadar değişen büyüklükteki nesneleri görebiliriz. (Karşılaştırma için, bir insan saçının çapı yaklaşık 100 mikrondur). Bir ışık mikroskobu kullanarak görebileceğimiz diğer nesneler çiçek parçaları, böcekler, solucanlar ve insan derisidir. Işık mikroskobu, çözünürlüğünün (detayları ayırt etmek için bir mikroskobun kabiliyeti) hücre boyutu aralığında olması sebebiyle biyolojik numunelerin görüntülenmesi için idealdir.

Işık mikroskobu ve diğer mikroskop türlerinde edinilen görüntünün kalitesi iki özellik ile belirlenir. Bu özelliklerden birincisi büyütme oranıdır. Büyütme oranı, bir nesnenin orijinal boyutundan kaç kat daha büyük bir görüntü elde edildiğini gösterir. İkinci özellik çözünürlüktür. Çözünürlük, gözlemlenen nesnenin yapıları arasındaki mesafe ve yoğunluk farkının büyütülen görüntüde nasıl alındığının, yani görüntünün ne kadar net olduğunu gösterir. Mikroskoplarda çözünürlük ve büyütme ışık ve mikroskop mercekleri tarafından sağlanır. Lensler, çeşitli amaçlar için kullanılan ışığı yönlendirmemizi sağlar.

Mikroskopik görüntülerde, mikroskop ışının dalga boyu (λ) ve lenslerin ışık toplama gücünü ifade eden sayısal açıklık (NA) çözünürlüğü etkileyen iki faktördür. Sayısal Açıklık ile çözünürlük arasında doğrusal bir orantı vardır. Yüksek Sayısal Açıklık değerine sahip bir lens aynı zamanda yüksek çözünürlüğe sahiptir. Refraktif indeks (n) kırılma olmaksızın ışığı ne kadar iletildiği/sağıldığını belirten sayısal bir ifadedir. Refraktif indeks yayılan ışığın kırılan ışığa oranıdır. Refraktif indeksini gösteren n değeri, kullanılan şensin ışık toplama kapasitesini ifade eder. Başka bir deyişle, n değeri ne kadar yüksekse, kullanılan merceğin ışık toplama kapasitesi de o kadar yüksektir.



Finis 2019 - Editable Doc

Şekil4. Mikroskop Parçaları

Görüntünün mikroskopla görülebilmesi için yüksek düzeyde kontrast gereklidir. Işık yoğunluğunu ve lensler üzerinden ışığın geçtiği açıyı değiştirerek kontrastı ayarlamak mümkündür. Aydınlatma lensinden (mercek) gelen ışığın açısı, diyafram adı verilen mikroskoptaki evre halkaları ile ayarlanır. Kontrastı ayarlamanın başka bir yöntemi de, ışık kaynağının önünde yer alabilecek olan filtrelerdir. İncelenen numuneyi çeşitli kimyasallar uygulayarak kontrastı güçlendirmek mümkündür.

Sınıflarda iki tür ışık mikroskobu bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi stereomikroskoptur, nesnelerin yüzeyini görmek için kullanılır ve diğeri bir ince çapraz kesiti incelemek için kullanılan bileşik mikroskoptur. Işık mikroskobunun avantajlarından bir tanesi (ve özellikle stereomikroskoplar), nesnelerin önceden az bir hazırlık yaparak veya hiç yapmadan incelenebilmesidir.

Işık mikroskobunda biyolojik nesnelerin görünürlüğünü artırmak gereklidir (özellikle bileşik mikroskoplarda). Bu sebepten dolayı, tüm parçalarının ayırt edilmesini zorlaştırarak genellikle

kontrasttan yoksun olduklarından dolayı bazı boya materyalleri, numuneleri renklendirmek için kullanılırlar.

Boyar madde olarak iyot genellikle bitki hücrelerini renklendirmek için kullanılır. İyot boyalar, renk olarak birbirlerinden ayrılmalarını sağlayarak hücrelerde depolanan nişastayı maviye ve diğer yapıları soluk kahverengine. Diğer yaygın olarak kullanılan boyar maddeler hematoksilen ve eozindir. Flüorışmalı benekli mikroskopi kullanılırken, hücrenin veya dokunun belirli kısımlarını vurgulamak için floresan boyalar kullanılır. (<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/501-light-microscopes>).

Flüorışma mikroskopisini (aynı odaklı) tarayan aynı odaklı lazer, herhangi bir kesit alınmadan mikroskop altında kalın bir biyolojik numunenin görüntülenmesini sağlar. Bu özellik, hücre membranı üzerinden ilaç taşıma sisteminin girişi ve hücre etrafındaki mitokondrilerin hareketi gibi biyolojik numunelerdeki süreçleri izlemeyi mümkün kılar.

Aynı odak, hücrelerin organelleri veya proteinler gibi belirli bileşenleri incelemek için kullanılabilir. İncelenen bileşen, bir flüoresan maddeye maruz bırakılır ve en kolay incelemeyi sağlayan, görüntüde farklı renkleri daha parlak hale getirir.

Bir kayadaki mineralleri görmek istediğimizde, bir polarize ışık mikroskobu kullanırız. Böylece farklı mineraller, polarize ışık altında farklı renkler olarak görülür (sadece tek bir yönde titreşen dalga boyları). Bir polarize ışık mikroskobu ile minerallere baktığımızda, bunların şekli, boyutu ve oryantasyonunu görmemizi sağlar.

4. Atomları Nasıl Görebiliriz? Elektron Mikroskobu

Modern ışık mikroskobu, 2000 kata kadar büyütme yapabilir. Bu büyütme bitki ve hayvan hücrelerinin içini görmek için yeterlidir, ancak ışığın dalga boyu sebebiyle çok sayıda nanoölçekte nesneyi görmek için yeterli değildir. Nanoölçekteki nesneler çok küçüktür, bunlara doğrultulan ışık bunlara ulaşamaz, bunları görebilmek için hiçbir geri yansımaya yol açmaz.

Elektron mikroskopları, nesnelere daha detaylı olarak bakmamızı sağlar, çünkü bunlar bir ışık mikroskobundan çok daha fazla büyütme sağlar. Bazı elektron mikroskopları moleküller veya hatta

atomlar kadar küçük nesneleri izlemeyi sağlar. Işık mikroskobunun tersine, elektron mikroskopları, canlılara doğrudan bakmadan önce basit bir hazırlık aşamasından geçmelidir.

Bir elektron mikroskobu kullanarak, bir atom kadar küçük nesneleri görebiliriz (milimetrenin yaklaşık on milyonda biri veya 10-10 m). Bir atomun boyutu nanometrenin bir kesridir (bir atomun çapı=10-10m, 1 nanometre(nm)=10-9m, dolayısıyla bir atomun boyutu=0,1 nm). Elektron mikroskobu kullanarak görebileceğimiz diğer nesne örnekleri virüsler ve moleküllerdir.

İki Alman bilim insanı olan, Ernst Ruska ve Max Knoll, 1931 yılında görünür ışıktan daha iyi çözünürlük sağlayacak bir yöntem geliştirdi. Bu yöntemde, elektronlar ışığın yerine incelenecek olan numuneden geçer ve görüntü elde edilir. Bu yöntemle elektron mikroskobunun ilk numunesi ortaya çıkarılmıştır. Elektron ışınları bir numuneye yönlendirilir ve ona çarpması sağlanır. Numuneye çarpan elektronlar saçılır ve çarptıkları nesneyi görüntülemek için kullanılır. Elektron mikroskobunda, bu görüntü 500,00 kat büyütülebilir. Bir elektron mikroskobu detaylı olarak hücrenin için görmemizi sağlarken, bir iletim elektron mikroskobu nanoparçacıklar ve atomları görmemizi sağlar. 1940-1950 yılları arasında, Albert Claude, Keith Parter ve George Palade tarafından yapılan çalışma sayesinde, elektron mikroskobu aynı zamanda biyolojide bir kullanım alanı olmuştur.

Elektronlar, elektron mikroskobunda bir aydınlatma kaynağı olarak ışık yerine kullanılırlar. Bir elektron mikroskobu, bir ışık mikroskobundan daha iyi bir çözünürlük sağlar, çünkü elektronların dalga boyu yaklaşık 0.04 nm'dir. Elektron dalga boyu, görünür ışığın dalga boyundan yaklaşık 10000 kat daha küçüktür. Elektronların dalga boyu görünür ışığın dalga boyundan daha kısa olmasından dolayı, elektron mikroskobunun sağladığı büyütme ve çözünürlük standart ışık mikroskoplarına göre daha yüksektir.

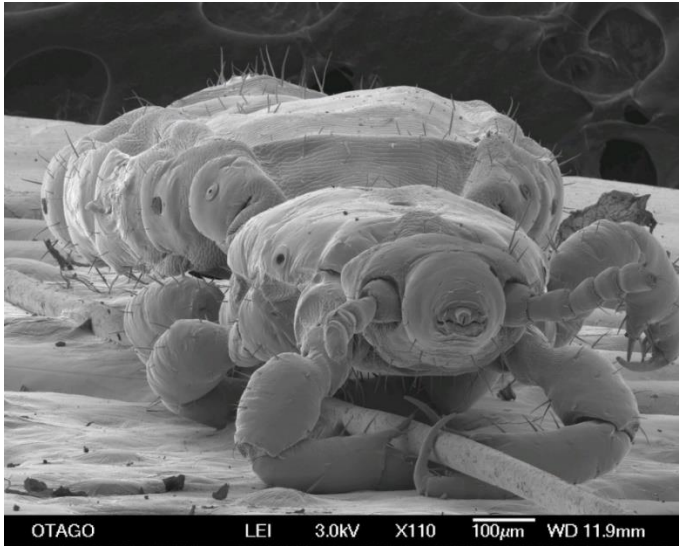
Elektron mikroskobunda, elektronlar elektron tabancası ile serbest bırakılır. Yoğunlaştırıcı mercekler daha sonra elektron ışınını tek, ince bir ışına dönüştürür. Böylece, elektronlar tek bir nokta üzerine odaklanma için verilir. Elektronların aşağı doğru hareket etmesi ve numuneyi hedef alması için numunenin etrafında pozitif yüklü sistemler vardır. Görüntü işlemek için numunelerin hazırlanması ve elektron mikroskobunun kullanılması, standart mikroskoplara kıyasla daha karmaşıktır. Elektron mikroskobunda kullanılacak olan numune, ışık mikroskobundaki bölümlerden çok daha incedir. Bu numune üzerinden doğrudan elektronları geçirerek, görüntüler flüoresan yüzey üzerindeki karanlık derecesine bağlı olarak oluşturulabilir veya elektronlar numune yüzeyine çarpabilir ve çalışma altındaki numunenin derinliği veya yoğunluğuna göre farklı açılarda ve oranlarda yönünden sapabilir. Kayıp

elektronlar detektörler tarafından algılanır bunun sonucu olarak numunenin dijital bir görüntüsü elde edilir.

Çok farklı türlerde elektron mikroskopları vardır:

İletim elektron mikroskobu (TEM), elektron mikroskobu teknolojisinde geliştirilecek olan ilk elektron mikroskobu olmuştur. Bu bir numunenin ince bir dilimine çarpan elektronların tespit edilmesi ve diğer tarafa geçmesi ilkesine dayalı olarak işler. TEM, çok yüksek bir çözünürlükte bir numunenin ince bir bölümünde bakmamızı sağlayan bileşik ışık mikroskobuna benzer. Bu işlevsellik, birçok küçük nesnenin daha da ayrıntılı bir şekilde incelenmesini sağlar.

Elektron tomografisi, hücre veya dokunun bir üç boyutlu görüntüsünü görmemizi sağlayan TEM'in farklı bir türüdür. Üç boyutlu olarak nesneleri ve bunların parçalarını görmek, bunların arasındaki ilişkiyi anlamamıza yardımcı olur. Aynı zamanda, elektron tomografisi, geleneksel TEM'den daha yüksek çözünürlükle iki boyutlu görüntüler verebilir.



Şekil5. SEM ile görüntülenen bit (www.sciencelearn.org.nz/resources/502-types-of-electron-microscope)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) öncelikle nesneye doğrultulan elektronların bir ışını ile numunenin yüzeyini tarar, ardından bir üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü görüntü edinmek için numunenin yüzeyinden yansıtılan elektronları kullanır. Bazen, nesneleri görmek için (bit, pire v.b. gibi böcekler), düşük büyütme değerleri bunların 3D görüntülerini dinmek için yeterli olabilir.

CryoSEM, doğal olarak su içeren (bitkiler, gıda, v.b.) nesneleri görmemizi ve incelememizi sağlayan SEM'in özel bir formudur. Geleneksel SEM'deki numune hazırlamanın aksine, numuneler CryoSEM'de

incelenmeden önce sıvı nitrojen içinde dondurulur. Birçok araştırmacı, numunenin hazırlanmadan önceki şekline benzer olduğu için cryoSEM ile çalışmayı tercih etmektedir.

Elektron geri saçılım kırınımı (EBSD), taş ve kayalardaki minerallerin yapısına detaylı olarak bakmak için kullanılır. EBSD detektörleri SEM'lerin bir parçası olarak çalışır. Elektron ışını taş/kaya gibi bir nesneye doğru yönlendirilir, nesneye çarpan elektronlar saçılır ve cihaz bu elektronları tespit eder. Buradaki saçılma kalıbı mineralin yapısı ve kristal şekli hakkında önemli bilgiler verir.

4.1 Elektron Mikroskobu

Genel olarak, nanoparçacıkların doğrudan görüntülenmesi tekniği, elektron mikroskopi yöntemleri ile yerine getirilir. Elektron mikroskopisinin temel ilkeleri modül 2.4'te açıklanmıştır. Burada iki farklı elektron mikroskopi tekniğinden bahsedilmelidir. Bunlar Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve Geçiş Elektron Mikroskopisidir (TEM). SEM, incelenecek olan materyal yüzeyine gönderilen elektron ışınının materyal yüzeyine yansıtılması ile görüntü elde etme yöntemidir. Bu yöntemde, materyalin yüzey özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. TEM, materyal üzerinden gönderilen bir elektron ışınının geçmesiyle görüntülerin alınması tekniğidir.

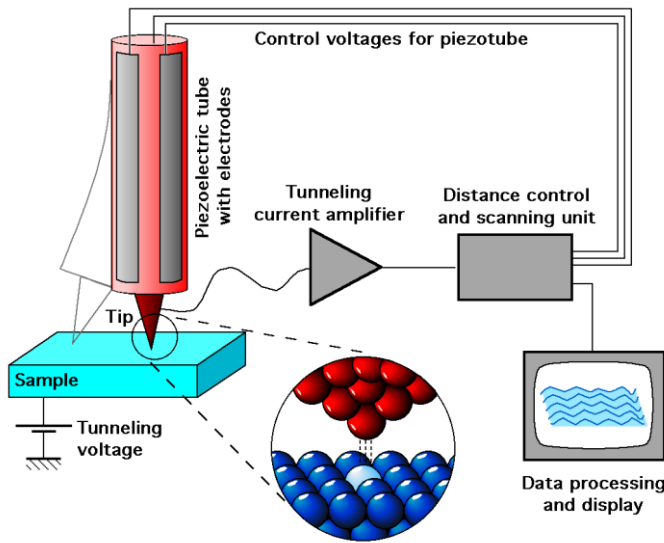
Her iki yöntemin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Ek olarak, nanomateryallerin farklı fiziksel özellikleri, materyalin atomları ile elektronların etkileşime geçmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan ışınlar (x-ışınları) veya elektronların saçılması ile her iki elektron mikroskopi yöntemi ile bulunabilir.

SEM'de, nanomateryal yüzeyine gönderilecek elektronların enerjisi 200 keV ile 100 keV arasındadır. Bu değer, elektronların TEM'deki materyalden geçebilmesi için daha yüksek olması gerekir. Bu değer yaklaşık 100 keV ile 500 keV arasında değişir. SEM ile gerçekleştirilecek olan görüntüleme işlemlerinde, materyal odaklanacak olan elektronlar için iletken olmalıdır. Eğer materyal iletken değilse, materyalin yüzeyi birkaç nanometre kalınlığında iletken bir materyal (Altın, Karbon) ile kaplanmalıdır. Bu, ölçüm hazırlama aşamasının zorluğu ve maliyetin yanı sıra uzun zaman alması açısından bu tekniğin bir dezavantajıdır. Diğer taraftan, TEM hem iletken hem de yalıtkan materyaller üzerinde doğrudan kullanılabilir. Bununla birlikte, gönderilen elektronların materyal üzerinden geçmesi için, materyal çok ince olmalıdır veya özel teknikler kullanılarak birkaç nm kalınlıkta hazırlanmalıdır. Bu yöntemin dezavantajlarından biri de budur. Her iki yöntemde de, nanomateryallerden hem görüntülemeleri hem de farklı fiziksel özellikleri hakkında bilgi elde edilebilir.

4.2 Sonda Mikroskobu

Sonda mikroskopları dolaylı görüntüleme yöntemleridir. Bu yöntemlerde, materyalin gem görüntülenmesi hem de fiziki özellikleri hakkındaki bilgiler bir sonda kullanımı ile edinilebilir. En yaygın kullanılan sonda mikroskopları Taramalı Tünelleme Mikroskopları (STM) ve Atomik Kuvvet Mikroskoplarıdır (AFM).

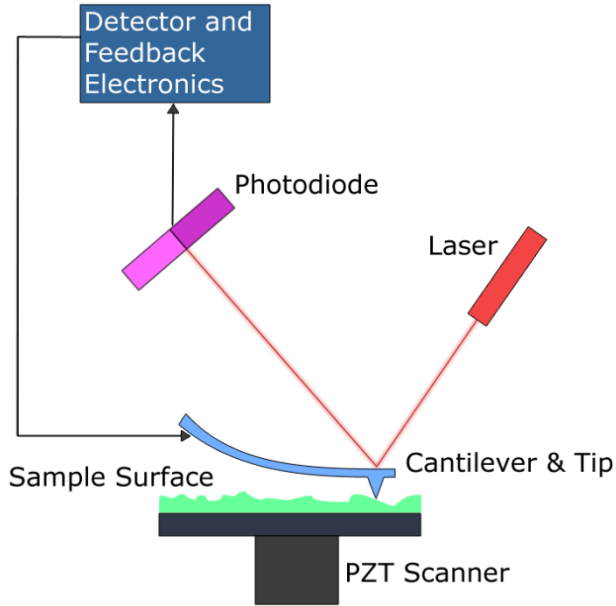
STM: STM'ler ilk olarak 1981 yılında G.Binnig ve H. Rohrer tarafından icat edilmiştir. Bu yöntemde, piezoelektrik materyalin yardımı ile, keskin bir uç ile yüzey arasında bir akım geçişi meydana gelir ve taranan yüzey atomları hakkında bilgi elde edilir. Bu yöntem sadece iletken yüzeylerde çalışır. Genellikle tungsten, platin-iridyum ve karbon nanotüpler piezoelektrik spayk olarak kullanılır. STM sayesinde, bölgenin elektronik durumu hakkındaki bilgiler numune materyallerinde elde edilir ve yüzey sertliği ölçülebilir ve metal yüzeylerin üç boyutlu görüntüleri elde edilir. Bununla birlikte, mikroskop düzeneğinin vakum ortamında olması gerekirken, ölçümler düşük sıcaklıklarda yapılmaktadır. (Şekil 6)



Şekil 6. Taramalı Tünelleme Mikroskobu yapısı
(https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Scanning_tunneling_microscope)

AFM: AFM'ler STM yöntemine göre nispeten daha kolay ve kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemde, atomik boyutlara kadar keskinleştirilmiş bir iğne ucu yardımıyla, iletken veya yalıtkan yüzeyin yüksek çözünürlüklü, üç boyutlu görüntülenmesi sağlanır. Görüntüleme, iğne ucunun yüzeyle etkileşimi

incelenerek gerçekleştirilir. Bu yöntemde iğnenin hareketi, iğne yüzeyine düşürülen lazerin fotodiyoda yansıtılması prensibi ile çalışmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Atomik Kuvvet Mikroskobu yapısı
(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/Atomic_force_microscope_block_diagram.png)

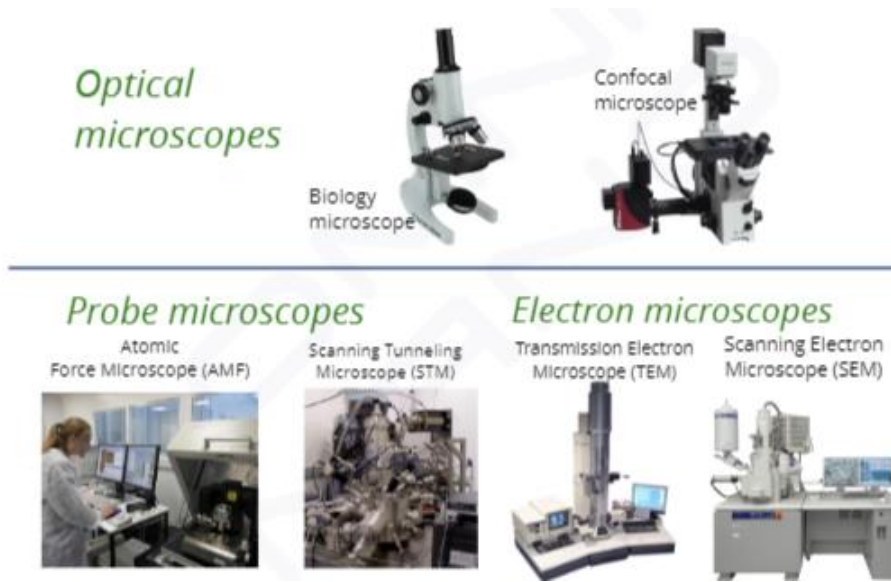
4.3 Optik Mikroskobun Çalışması

Bu bölümde, optik mikroskopların nanoparçacık analizinde nasıl kullanıldığını tartışacağız. Önceki bölümde de belirttiğimiz gibi, nanoparçacıkların doğrudan gözlemlenmesi sadece elektron mikroskopları kullanıldığında yüksek çözünürlükte elde edilebilir. Bununla birlikte, bir vakum ortamı gerektirmesi, uzmanların gerekli olması ve zaman ve maliyet ölçümü gibi elektron mikroskoplarının dezavantajları sebebiyle, nanoparçacıkların optik mikroskoplarla analizlerinin geliştirilmesine yönelik çabalar giderek daha önemli hale gelmiştir. Öncelikle, nanoparçacıkların gözlemlenmesi için sadece optik mikroskopların kullanılması yeterli değildir. Mümkün olan maksimum büyütme sadece 1000X'tir ve optik mikroskoplarla mümkün olan en iyi çözünürlük 200 nm'dir. Bununla birlikte, bu alandaki yeni çalışmalar ve teknolojinin gelişmesi göstermiştir ki, bu cihazlar belirli araçlarla birleşmelerinin bir sonucu olarak nanoparçacıkların belirli analizlerinde kullanılabilir. Özellikle, optik mikroskoplarla Yükten Bağlı Ayrıştırma (CCD) kameralarının birleşiminin bir sonucu olarak edinilen dijital görüntüler, bilgisayar programları ile bunların işlenmesi üzerinden nanoparçacıkların birçok özelliğinin ortaya çıkarılmasını mümkün kılmıştır. Kolay kullanımları, vakum ortamı gerektirmemeleri, maliyet, erişilebilirlik ve ölçüm

hızı gibi avantajları sebebiyle nanomateriyallerin analizin optik mikroskopların kullanımı, bu alandaki çalışmaların sayısını artmasına yol açmıştır. Optik mikroskoplarla yerine getirilen yöntemlerin bazılarında bahsederek, bunlar fototermal optik mikroskopi, Saçılımlı tür tarama yakın alan mikroskopisi (s-SNOM), Raman mikroskopi, yüzey plazmon rezonans mikroskopisi, karanlık alan mikroskopisi ve flüorışıma mikroskopisi örnek olarak verilebilir.

4.4 Mikroskopların İncelenmesi

Mikroskop türleri aşağıdaki şekilde görülebilir:



Şekil 8. Mikroskop Türleri

5. Referanslar

1. <https://evrimagaci.org/mikroskoplarin-genel-ozellikleri-hangi-mikroskop-cesitleri-hangi-deneylerde-kullanilir-9830>
2. https://acikders.tuba.gov.tr/pluginfile.php/1110/mod_resource/content/0/konu12.pdf
3. <https://study.com/academy/lesson/how-to-use-a-microscope-lesson-for-kids.html>
4. <https://omninano.org/nanotechnology-stem-curriculum/>