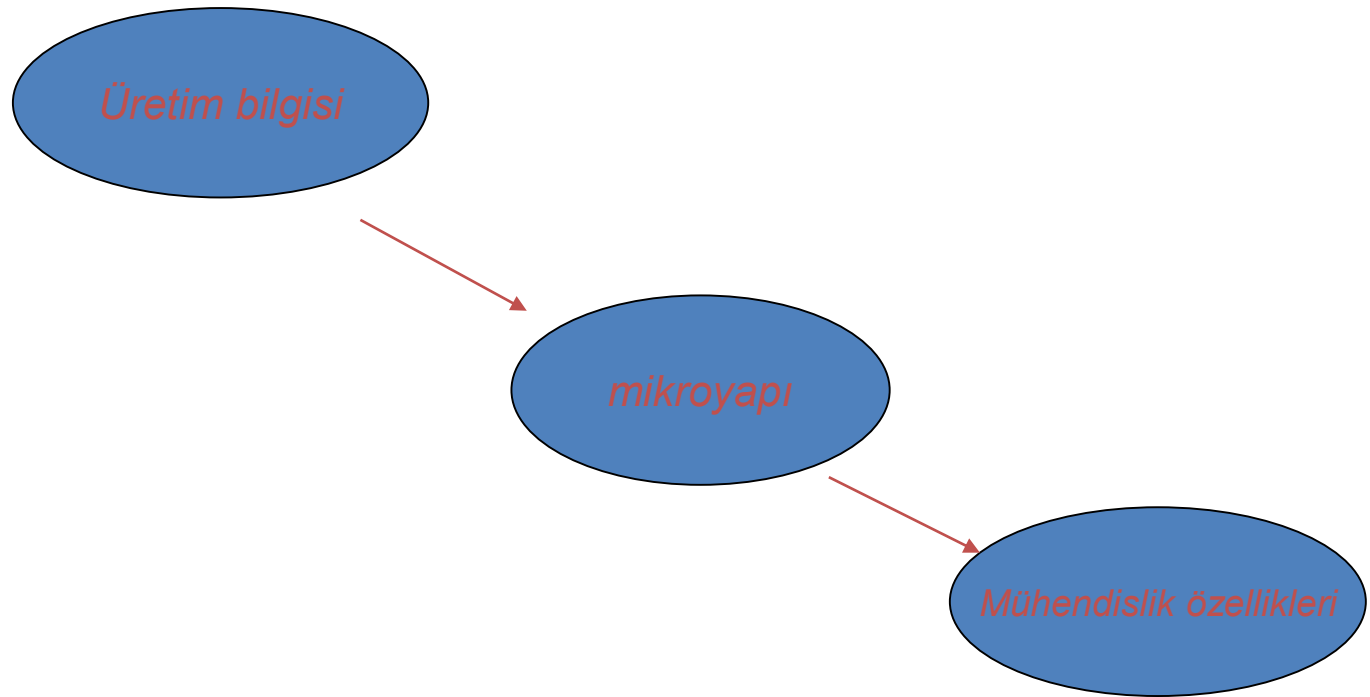




TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBİSİ (SEM)

İŞİL KERTİ

Malzemelerin dıştaki özellikleri iç yapısından dolayıdır. Mikroyapı ile malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri arasında ilişki vardır.



Malzemenin mühendislik özelliklerini belirleyen mikroyapısal oluşumlar

- Tane boyutu ve şekli
- Çökelti boyutu
- Çökeltilerin hacim oranı
- Çökeltiler arası mesafe
- Çökelti partiküllerinin bulundukları konum
- İç yapı hataları
- Kalıntılar
- Kristal yapısı ve bunların müdahale sonucu değiştirilmesi

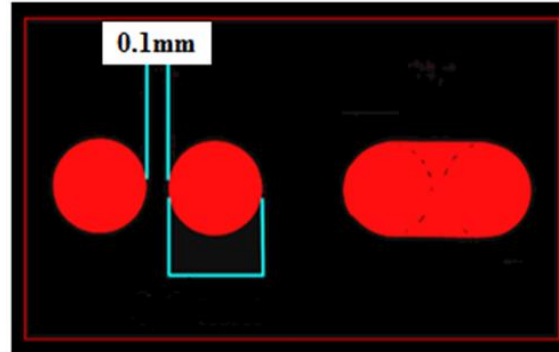
Mikroyapısal inceleme sonucu

- Mikroyapıyı oluşturan fazlar
- Fazların morfolojisi (boyutu, şekli, dağılımı)
- Fazların kimyasal bileşimi

NEDEN ELEKTRON MİKROSKOBU

İnsanların maddeyi gözüyle görebileceğinin üzerinde bir **AYIRMA GÜCÜ** ile görme istek ve gereksinimi

En küçük detayı görebilme kabiliyetine ayırma gücü denir.



İnsan gözü için ayırma gücü (ρ) 25 cm mesafeden yaklaşık 0.1 mm' dir.

Çoğu nesne insan gözünün ayırma gücünün altındadır.

Tıpta

Malzeme bilimi

Biyoloji

kandaki alyuvarlar

mikro yapıyı oluşturan kristaller

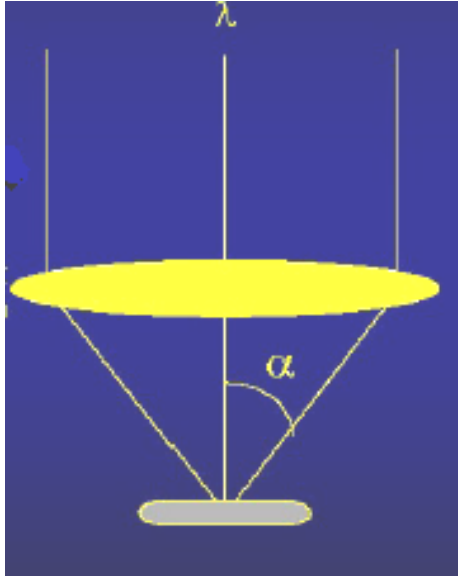
virüsler

Büyütme Ayırma Gücü İlişkisi

$$\rho \approx \frac{0.1mm}{Büyütme}$$

Büyütme	Ayıtedilebilir mesafe
100	1 μ m - (10,000 Å)
1,000	0.1 μ m - (1,000 Å)
10,000	0.01 μ m - (100 Å)
1, 000,000	0.0001 μ m - (1 Å)

AYIRMA GÜCÜ



$$\rho = \frac{0.61\lambda}{A} = \frac{0.61\lambda}{n\sin\alpha}$$

ρ = ayırma gücü

λ = ışığın dalga boyu

α = yarı objektif giriş açısı

n = ortamın kırılma indisi

$n\sin\alpha$ = nümerik açıklık

Ayırma gücünü arttırmak için

$$\rho = \frac{0.61\lambda}{A} = \frac{0.61\lambda}{n \sin \alpha}$$

(n)' yi büyütmek ya da (λ)' yı küçültmek gerekir.

Görünür ışık kullanıldığında $\lambda = 4200 \text{ Å}$, $n = 1.5$,
 $\alpha = 70^\circ$

$$\rho = 1500 \text{ Å},$$

Mor ötesi ışık kullanıldığında ise $\lambda = 2537 \text{ Å}$,
 $n = 1.5$, $\alpha = 70^\circ$

$$\rho = 2000 \text{ Å},$$

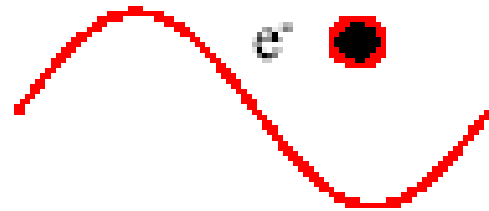
Daha ince detayı görebilmek için tek yol dalga boyunun küçültülmesidir.

Bunun içinde daha küçük dalga boyuna sahip elektronlar kullanılarak **ELEKTRON** **MİKROSKOPLARI** geliştirilmiştir.

Light Microscope	Electron Microscope
$\lambda = 0.5 \mu\text{m}$	$\lambda \sim \sqrt{\frac{150}{V_0}} = 0.055 \text{ \AA} (@50 \text{ kV})$
$\eta = 1.5 \text{ (glass)}$	$\eta = 1.0 \text{ (Vacuum)}$
$\alpha = 70^\circ$	$\alpha = 1^\circ$
$\rho = 0.2 \mu\text{m} = 2000 \text{ \AA}$	$\rho = 0.00016 \mu\text{m} = 1.6 \text{ \AA}$

Neden Elektronlar ?

- Dalga özelliğine sahiptir
- Yüklü parçacıklardır



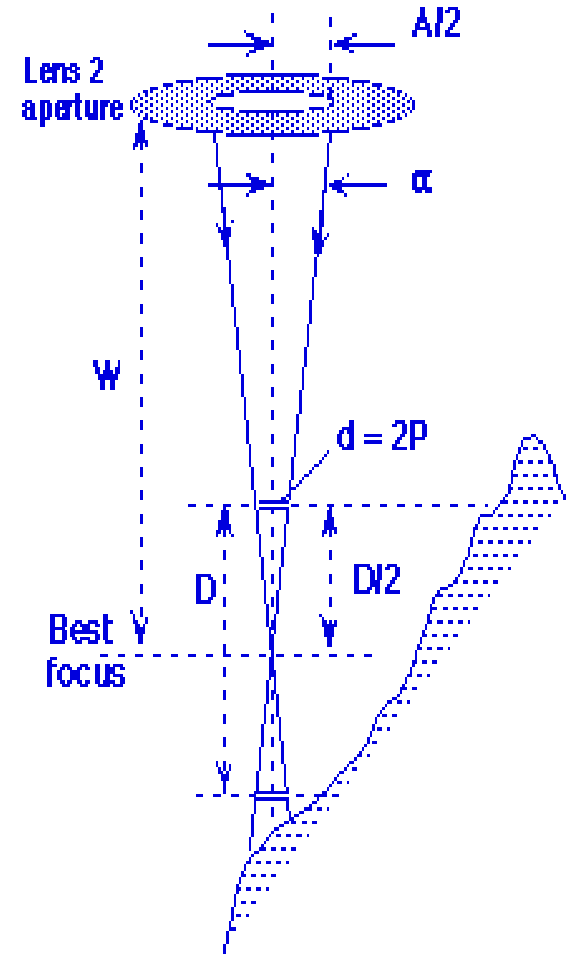
ELEKTRON MİKOSKOPLARI

Elektron mikroskopları kullanılarak 0.3 μm den 0.15 nm boyuta kadar yapılar incelenebilir.

TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBUNUN (SEM) KULLANIM ALANLARI

- **Topografi**: SEM'in odak derinliğinin (netlik derinliği, alan derinliği) ışık metal mikroskopunun odak derinliğinden yüksek olmasından dolayı topografik numunelerin incelenmesinde
- **Morfoloji**: objeyi oluşturan parçaların şekil, boyut ve dağılımının belirlenmesinde
- **Kimyasal bileşim**: elementlerin ve bileşiklerin miktarının tespitinde

Netlik Derinliği



Işıık Mikroskobu

$$d = \frac{\lambda \sqrt{n^2 - (NA)^2}}{(NA)^2} + \frac{250}{M^2}$$

Elektron mikroskobu

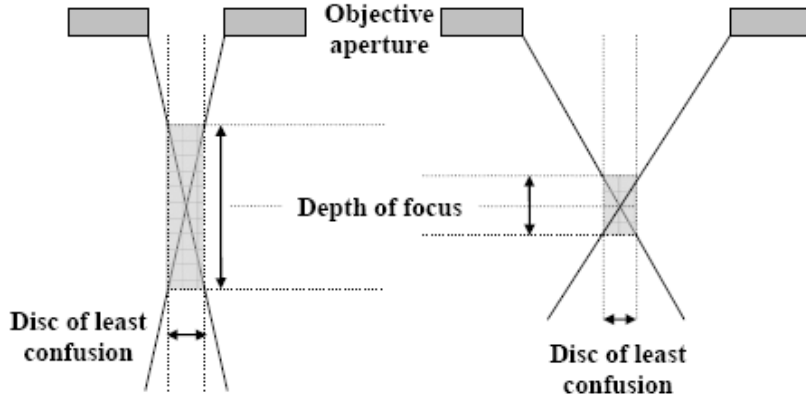
$$d = \frac{0.1 \text{ mm}}{M \alpha}$$

- λ = ışığın dalga boyu
- α = yarı objektif giriş açısı
- n = ortamın kırılma indisi
- M = Büyütme
- NA = Merceğın nümerik açıklığı

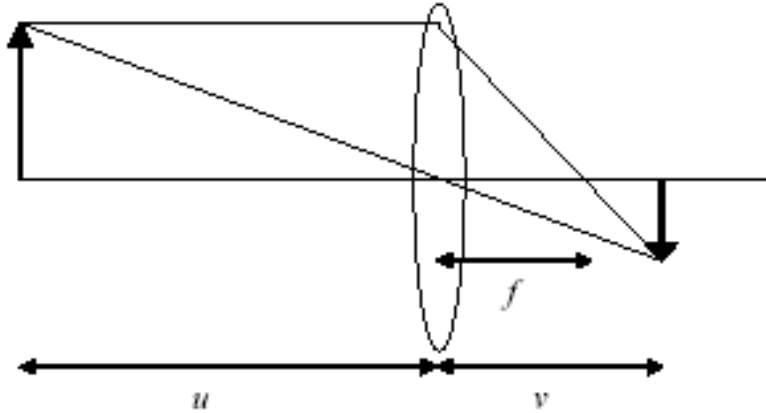
Netlik Derinliği

Büyütme	Netlik Derinliği	
	Optical	SEM
10	60 μm	1000 μm
100	8 μm	100 μm
1,000	0.2 μm	10 μm
10,000	-	1 μm

SEM' de netlik derinliği nasıl arttırılır?

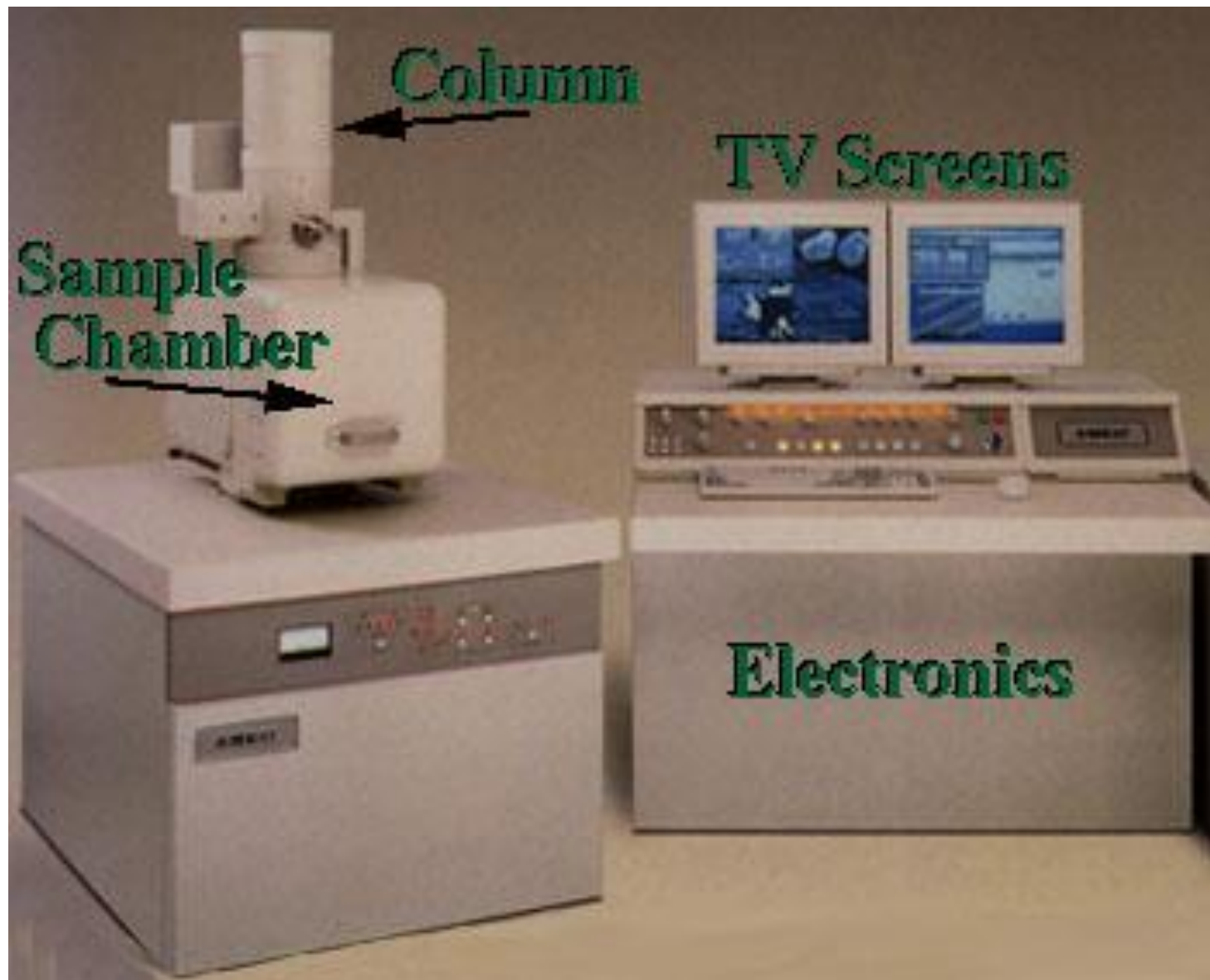


- Objektif açıklığını küçülterek
- Objektif açıklığı sabit kalmak şartıyla Çalışma mesafesini (numune-objektif merceğ arası mesafe) büyüterek

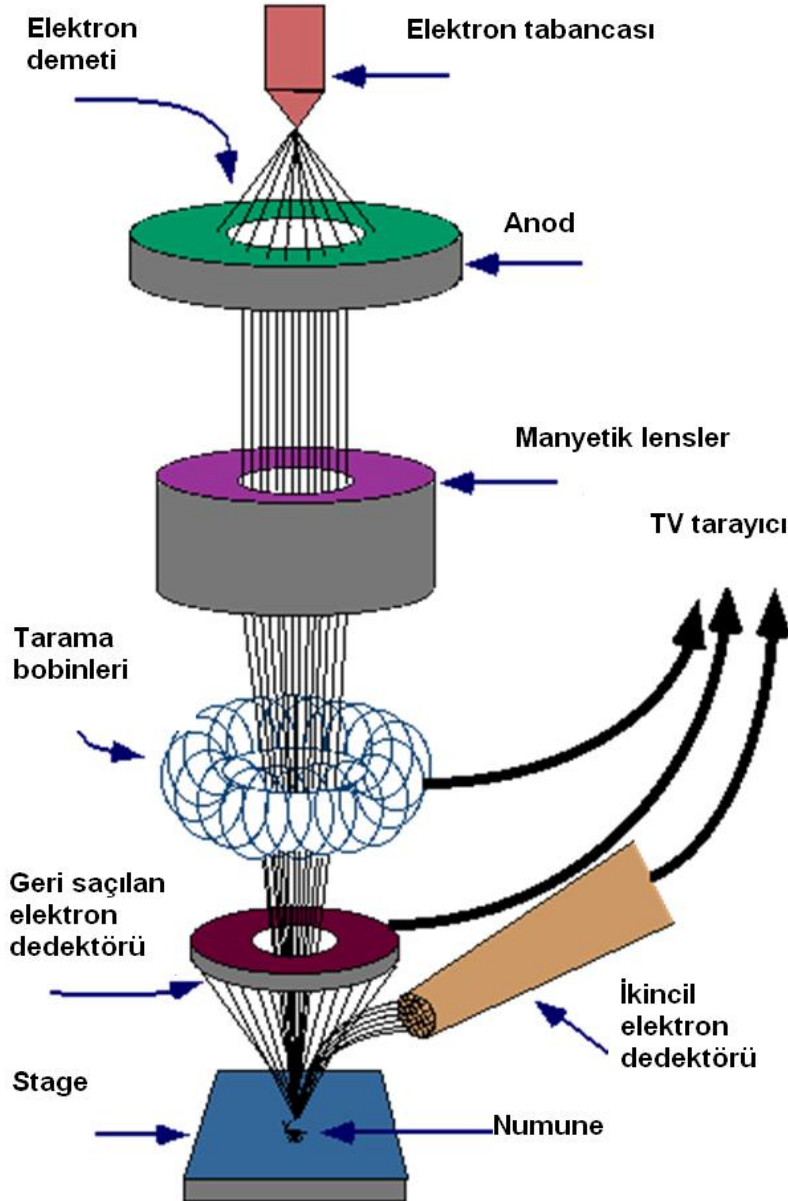


V = çalışma (görüntü) mesafesi
 U = obje mesafesi

Çalışma mesafesi objektif merceğin altından numune yüzeyine olan mesafedir



OPTİK KOLON



Elektron tabancası: maksimum sayıda elektron üretebilen elektron kaynağı

Anot Plakası: elektronları numuneye doğru ivmelendirmek için yüksek gerilim uygulanır.

Mercekler: elektron demetini toplamak ve yönlendirmek için kullanılır. Elektron demetinin çapı küçültülür, Elektronların yoğunluğu artırılır.

Apartırlar: demet çapını sınırlamak dolayısıyla netlik derinliğini arttırmak için kullanılır.

Tarama bobinleri: numune yüzeyini taraması için demeti saptıran bobinler.

Numune odacığı: üç boyutta hareket edebilen numune kazağı, dedektörler ve numunenin bulunduğu kısım

Detektörler: oluşan değişik sinyallere duyarlı algılayıcılar.

ELEKTRON KAYNAĞI (Tabancası)

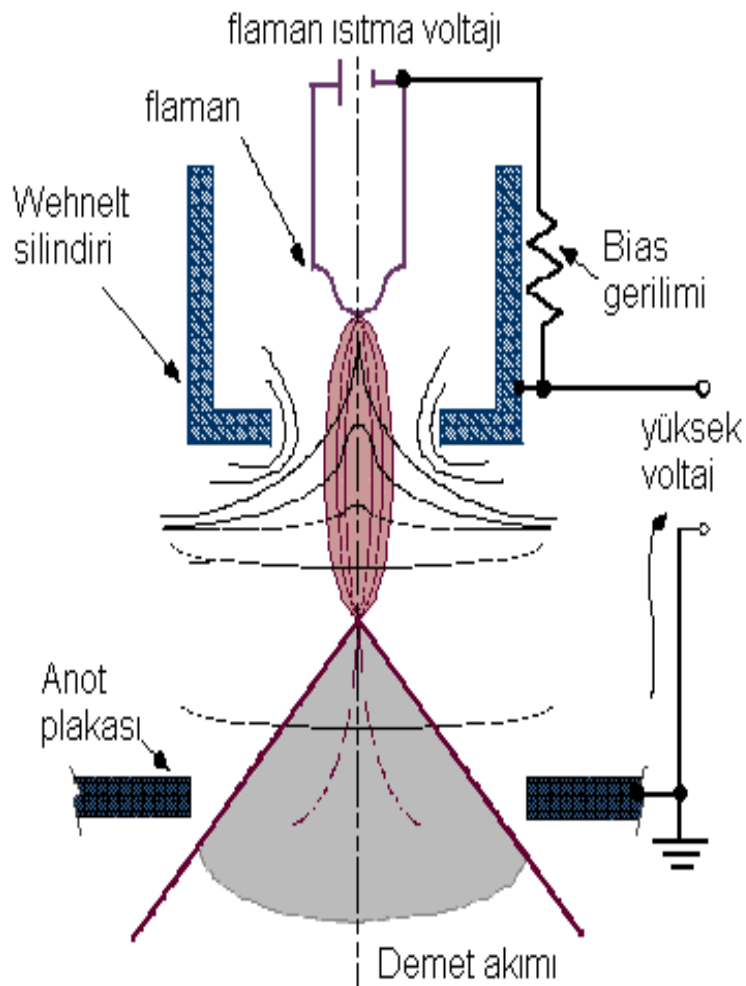
Elektron kaynağının görevi homojen, maksimum sayıda elektron içeren (yüksek parlaklık) tek bir elektron demeti oluşturmaktır. Elektron mikroskoplarında elektronlar, elektron tabancası tarafından üretilir.

Termoiyonik elektron tabancası (SEM)

Alan emisyon tabancası (FESEM)

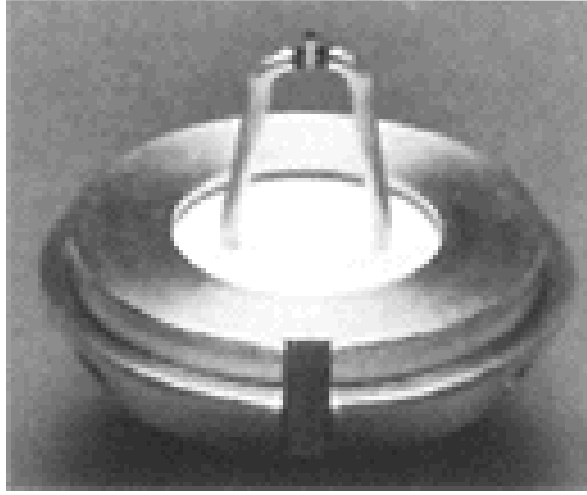
olmak üzere iki tip elektron tabancası vardır.

TERMOİYONİK ELEKTRON TABANCASI

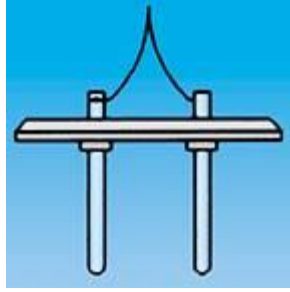
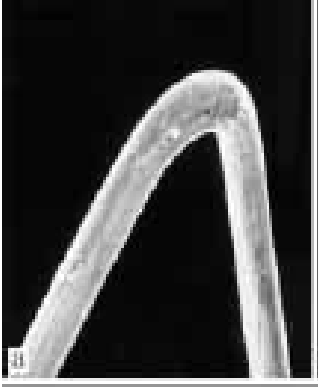


1. Flaman serbest elektronlar üretene kadar ısıtılır ve elektronlar koparılır.
2. Anot plakası ve flaman arasına pozitif gerilim uygulanır. (ivmelendirme voltajı 5-50 KV)
3. Flaman ile wehnelt arasına negatif gerilim uygulanarak akım değeri sabit tutulur. (Bias voltajı -200 ile -300 V)
4. Flamandan kopan elektronlar wehnelt tarafından optik eksene doğru yönlendirilir.
5. Elektron birikimi flaman ile anot arasındaki boşlukta oluşur. Çapı 10-100 μ m olan bu nokta cross over noktası olarak isimlendirilir.

FLAMANLAR

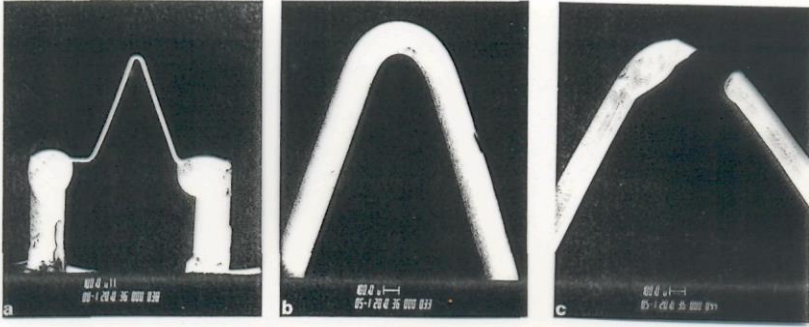


LaB₆ Flaman: küçük crossover noktası oluşturur. Bu ise yüksek parlaklık sağlar. Kullanım ömrü daha uzundur. Ancak yüksek vakum ihtiyacı vardır. (10^{-7} torr)



Tungsten flaman: tel kalınlığı 100 μ m kadardır.

- Saç tokası gibi hafif yuvarlak uçlular
- iğne uçlular olmak üzere iki şekli vardır.



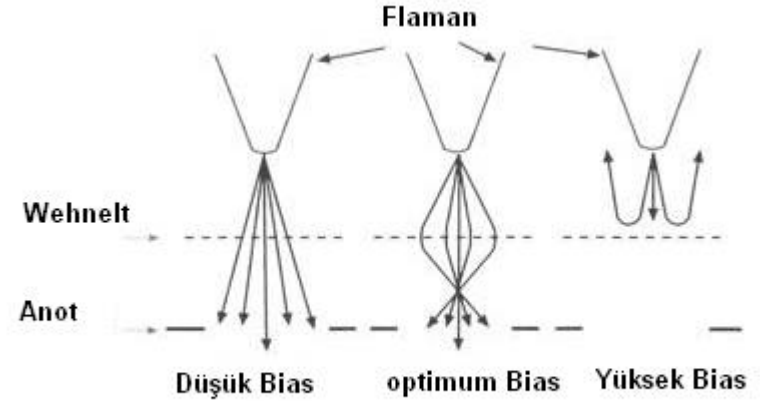
Saç tokası şeklinde olan flamanlar uzun ömürlüdür. Ancak uç kısmı nokta şeklinde olan flamanların sağladığı parlaklık 3 kat daha fazladır.



Parlaklık artışı mikroskobun ayırma gücünü pozitif yönde etkilediğinden, nokta şeklinde olan flamanlar tercih edilir.

WEHNELT SİLİNDİRİ

Silindir şeklinde paslanmaz çelik bir kaptır.



Görevi flamandan saçılan elektron demetini kontrol etmek ve kararlı hale getirmektir. Flamandan kopan elektronlar bütün yönlerde saçılır. Wehnelt kopan bu elektronları uygulanan negatif gerilimle (**Bias voltajı - 200 ile -300 V**) toplar ve belirli bir noktaya odaklar. cross over noktası

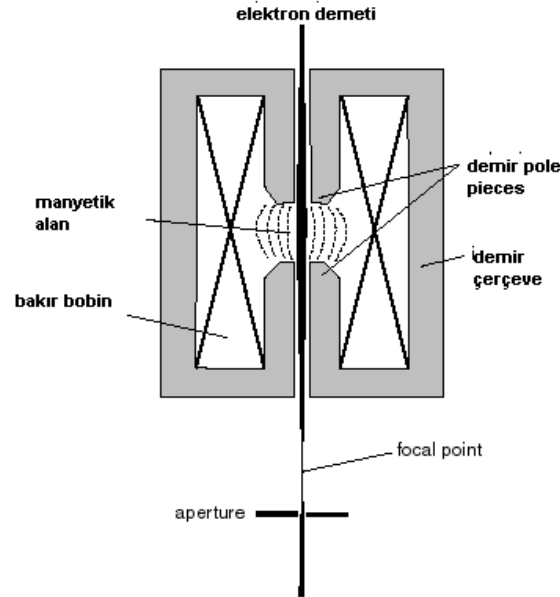
MANYETİK MERCEKLER

Elektron mikroskoplarında elektromanyetik mercekler kullanılmaktadır. Kondansör ve objektif mercek olmak üzere iki tip mercek vardır.

KONDENSÖR MERCEKLER

Manyetik alanda yüklü parçacıkların hareketi ile elektron demetinin sapıtılmasını sağlar

Elektron demetinin çapını belirleme (küçültmek) için kullanılır.



OBJEKTİF MERCEK

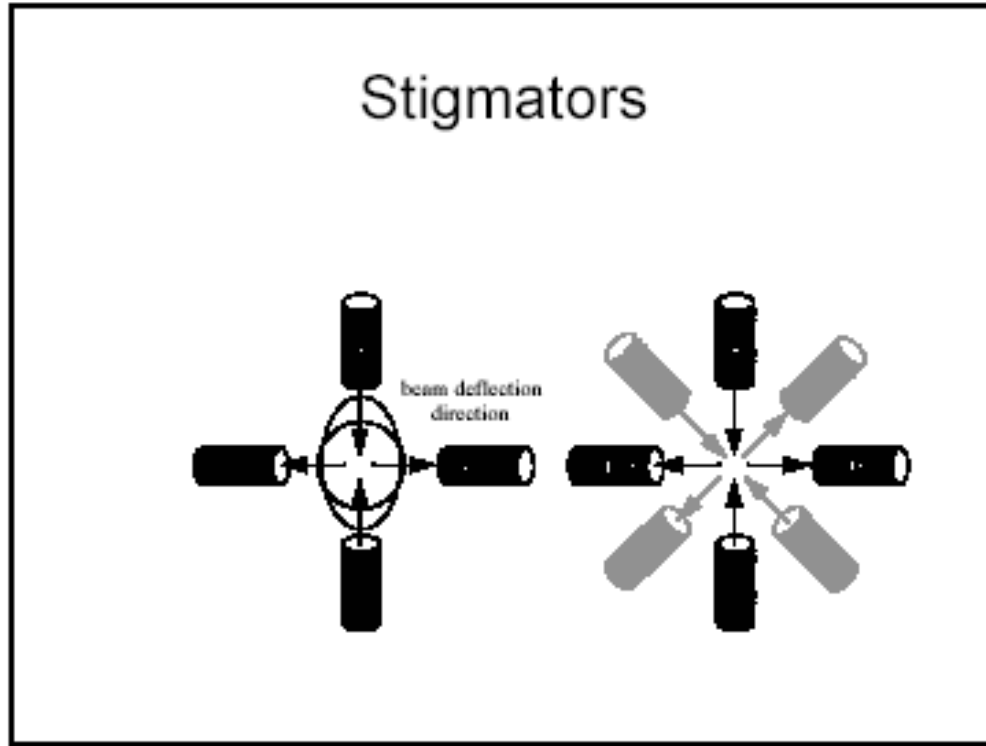
En altta bulunan mercektir. Görevi elektron demetini numune üzerine odaklamak, demet çapını ve yerini kontrol etmektir.



STİGMATÖR

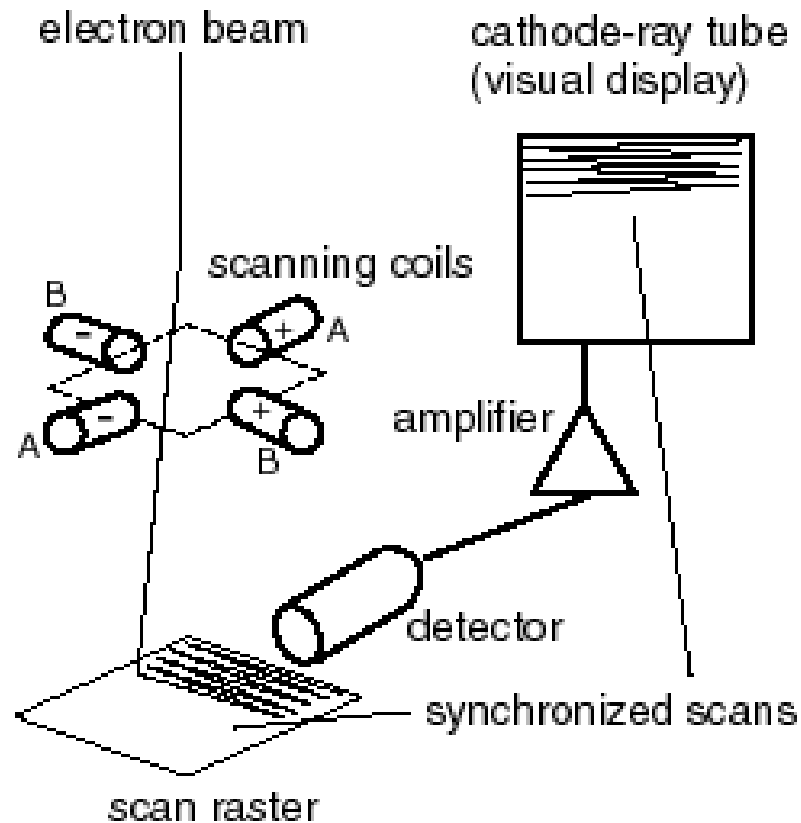
Mercekler ne kadar kusursuz olurlarsa olsun elektron demeti çeşitli nedenlerden dolayı tam dairesel olmayabilir. Buda astigmatizme neden olmaktadır.

Bu kusurları gidermek için stigmatörler kullanılır.



TARAMA BOBİNLERİ

Elektron demeti ile numune yüzeyini taramak ve görüntü elde etmek için tarama bobinleri kullanılır.



Büyütme

SEM görüntülerinde elde edilen büyütme, CRT üzerindeki tarama uzunluğunun numune üzerindeki tarama uzunluğuna oranıyla elde edilir.

$$M = L_{\text{CRT}} / L_{\text{numune}}$$

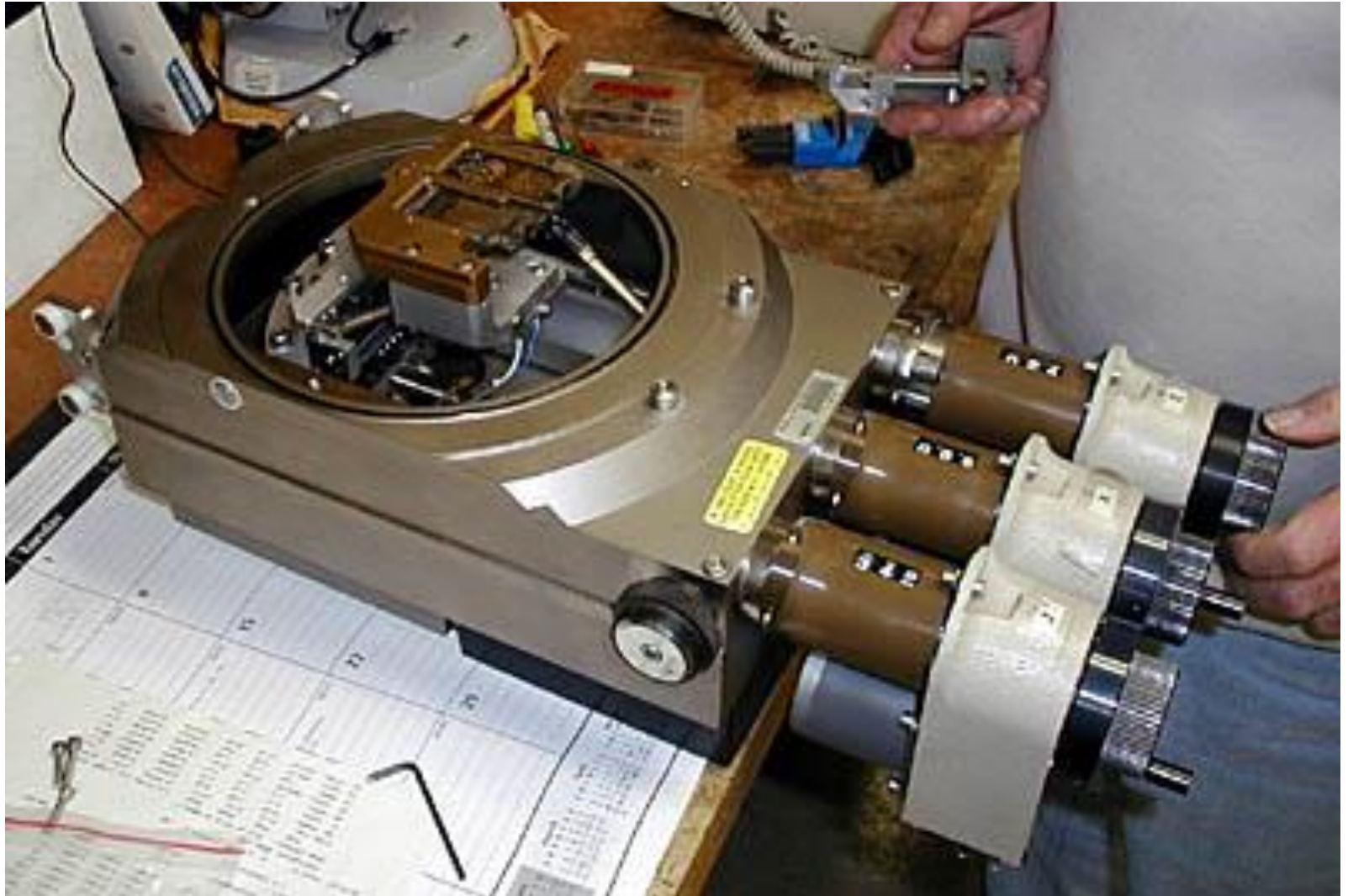
10 cm lik ekran genişliği için

Mag	Lnumune
10X	1 cm
100X	1 mm
1000X	0.1 mm
10 kX	10 µm
20 kX	5 µm
50 kX	2 µm

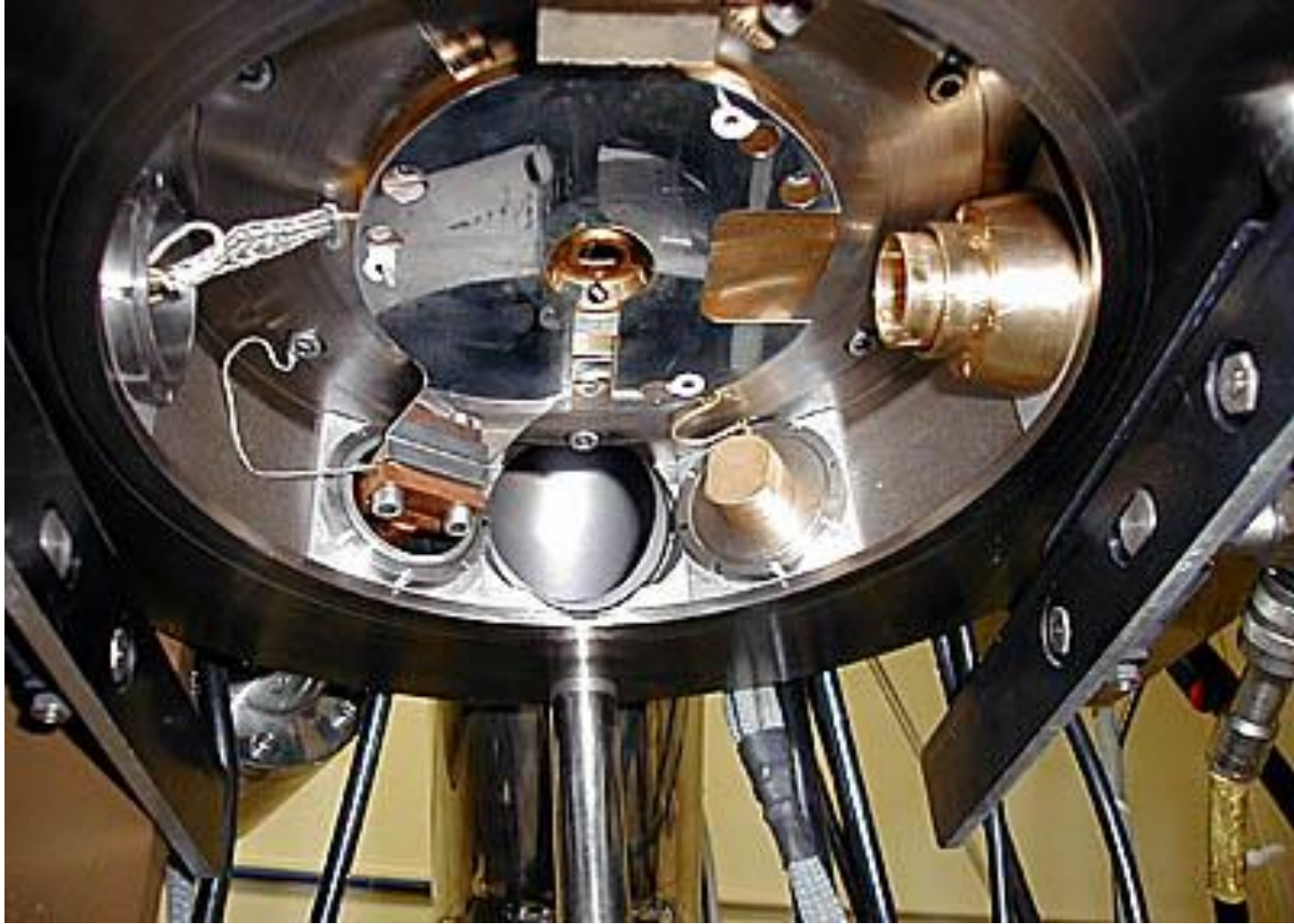
Büyütme Nasıl Değişir?

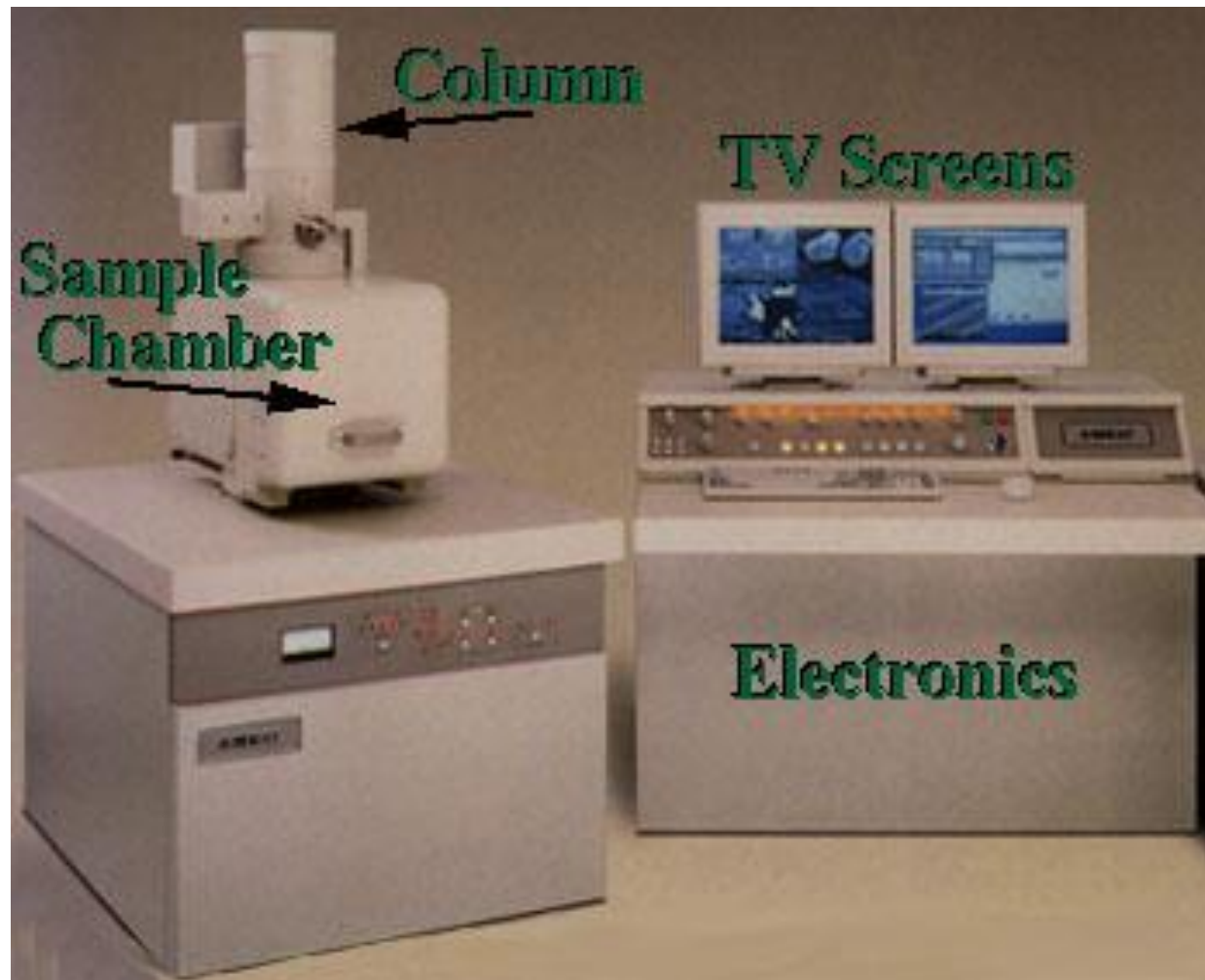
SEM' in büyütmesi, demetin odaklamasını sağlayan objektif merceklerinin değil, tarama bobinlerinin uyarılmasına bağlıdır.

NUMUNE ODASI (NUMUNE TUTUCUSU)

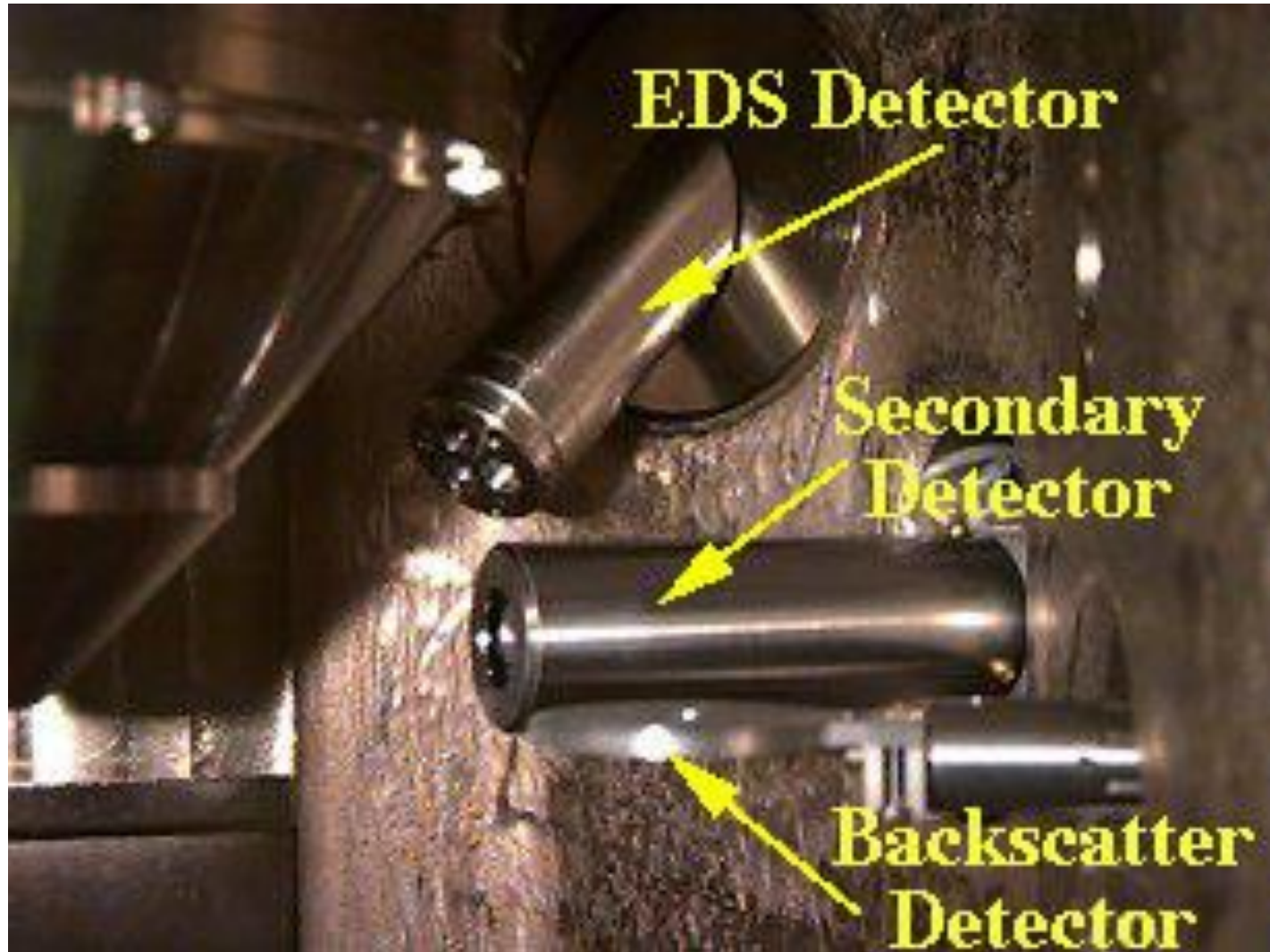


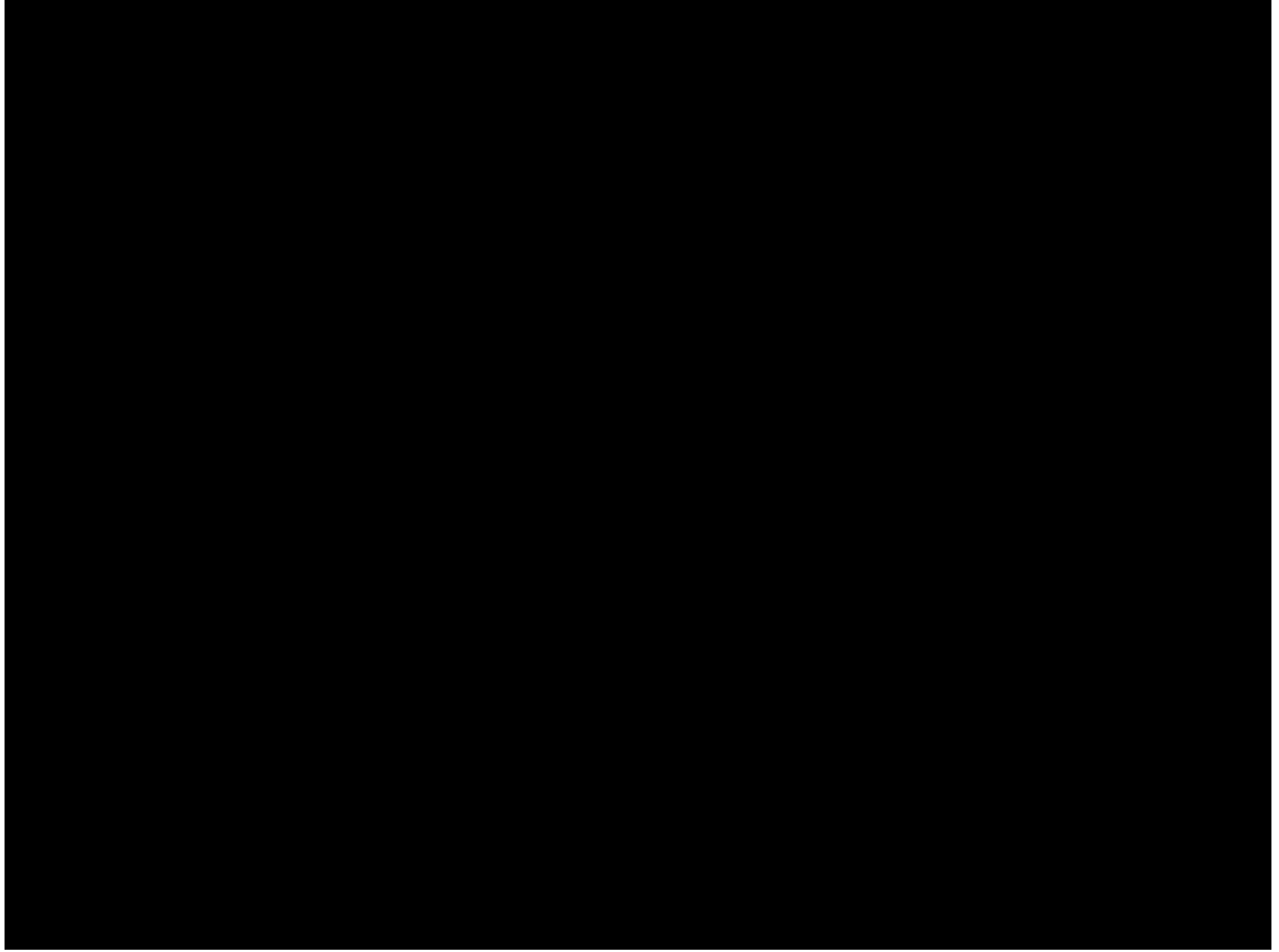
KOLONUN ALTTAN GÖRÜNTÜSÜ





DEDEKTÖRLERİN NUMUNE ODASI İÇİNDEKİ KONUMU





https://www.youtube.com/watch?v=Vs360UarP1U&list=PLqsQ0fYcWx_UNk9ehxcuAE_Pd7BHFb3gg&index=6&t=3s

om Into a Blue Morpho Butterfly

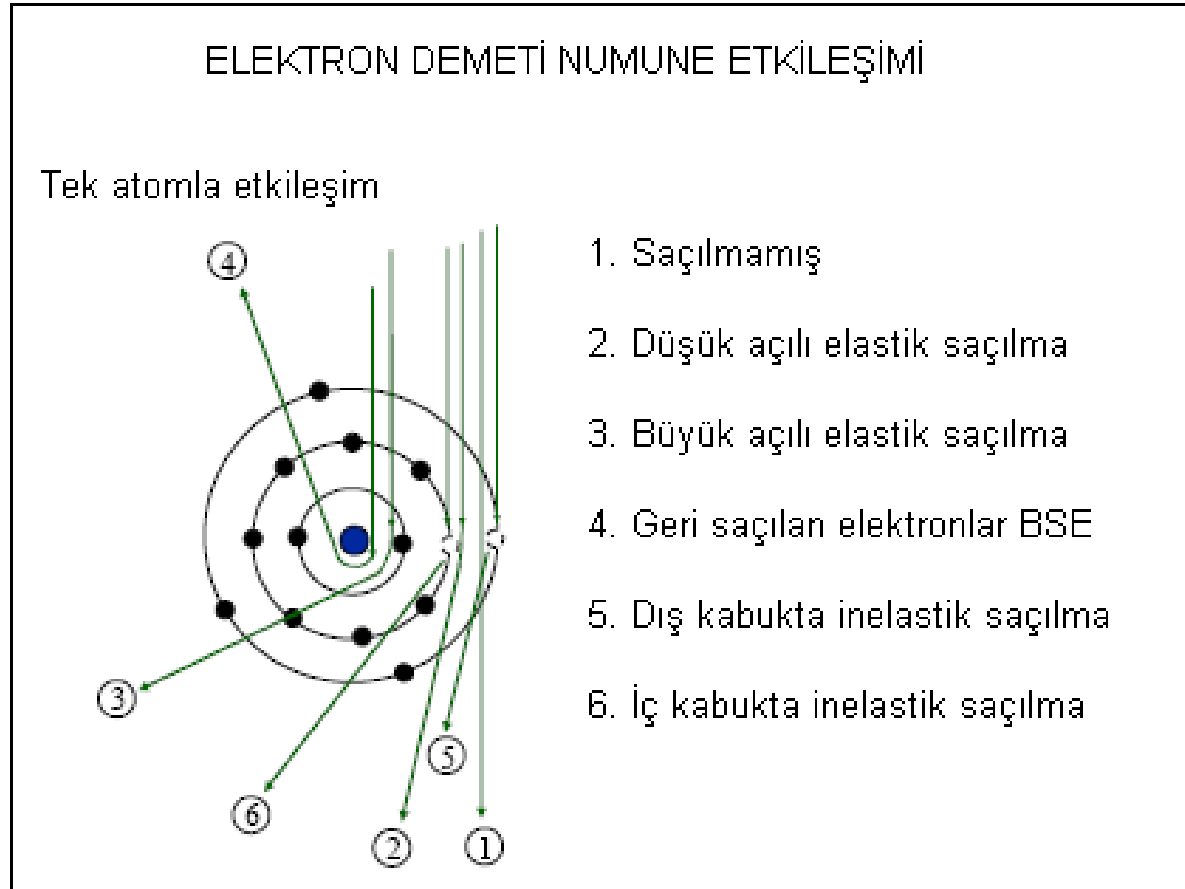


Digital Camera

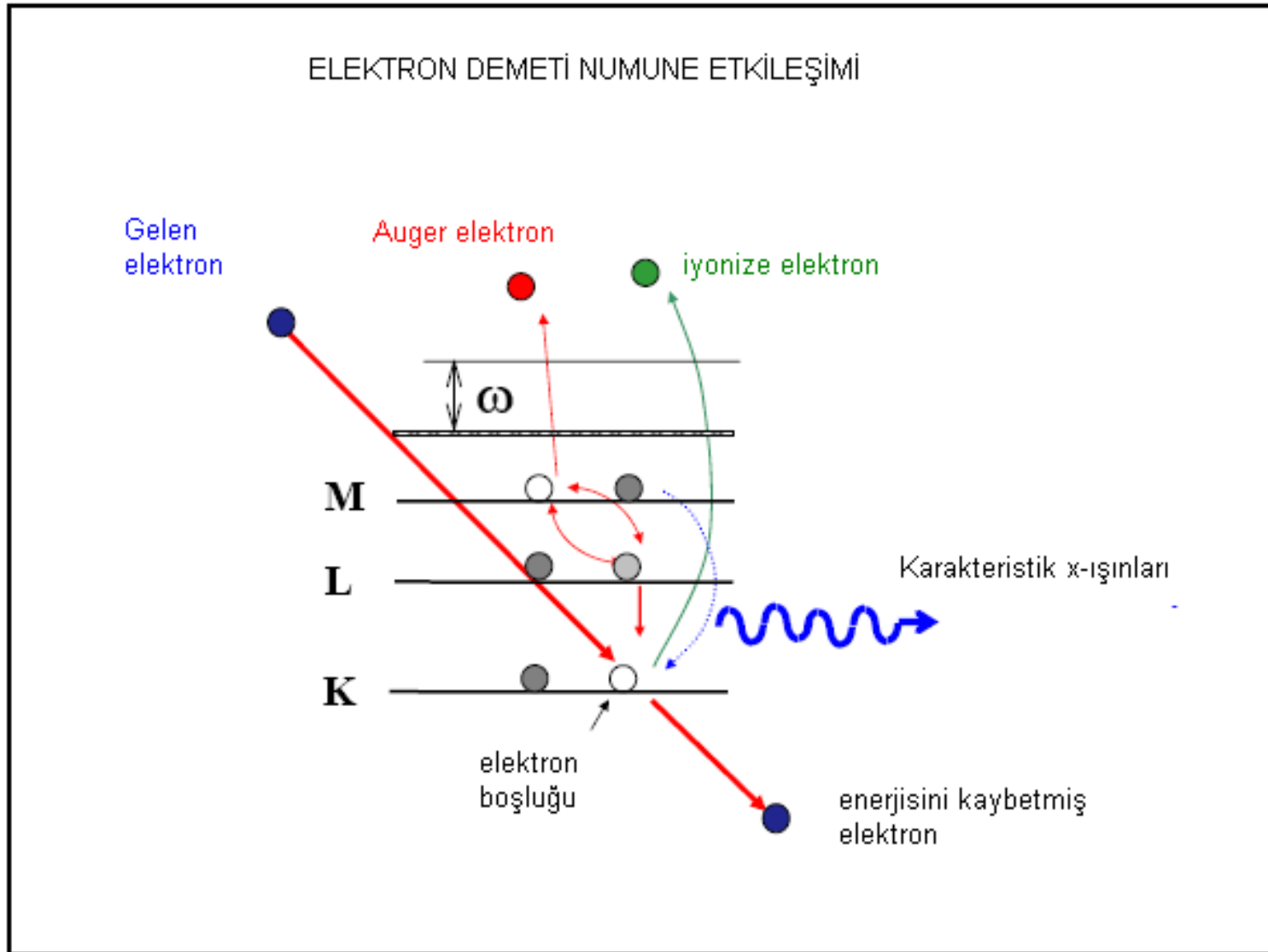
https://www.youtube.com/watch?v=JZcm3OZXPDY&list=PLqsQ0fYcWx_UNk9ehxcuAE_Pd7BHFb3gg&index=4

ELEKTRON DEMETİ NUMUNE ETKİLEŞİMİ

İvmelendirilmiş elektron madde yüzeyine çarptığında elastik (enerji kaybetmeden yön değiştirme) ve inelastik (enerji kaybı) olarak saçılır.

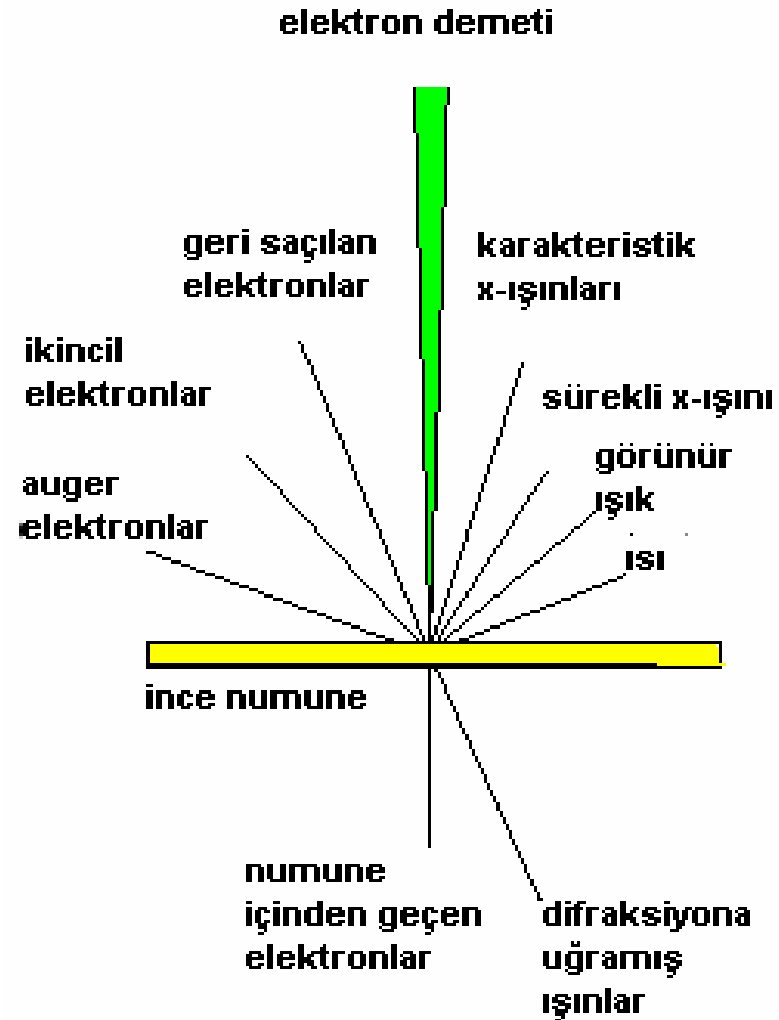


İnelastik saçılma sonucu değişik iyonizasyon olayları meydana gelir.



Elektron demeti – numune etkileşimi sonucu oluşan ve algılanılabilen başlıca sinyaller;

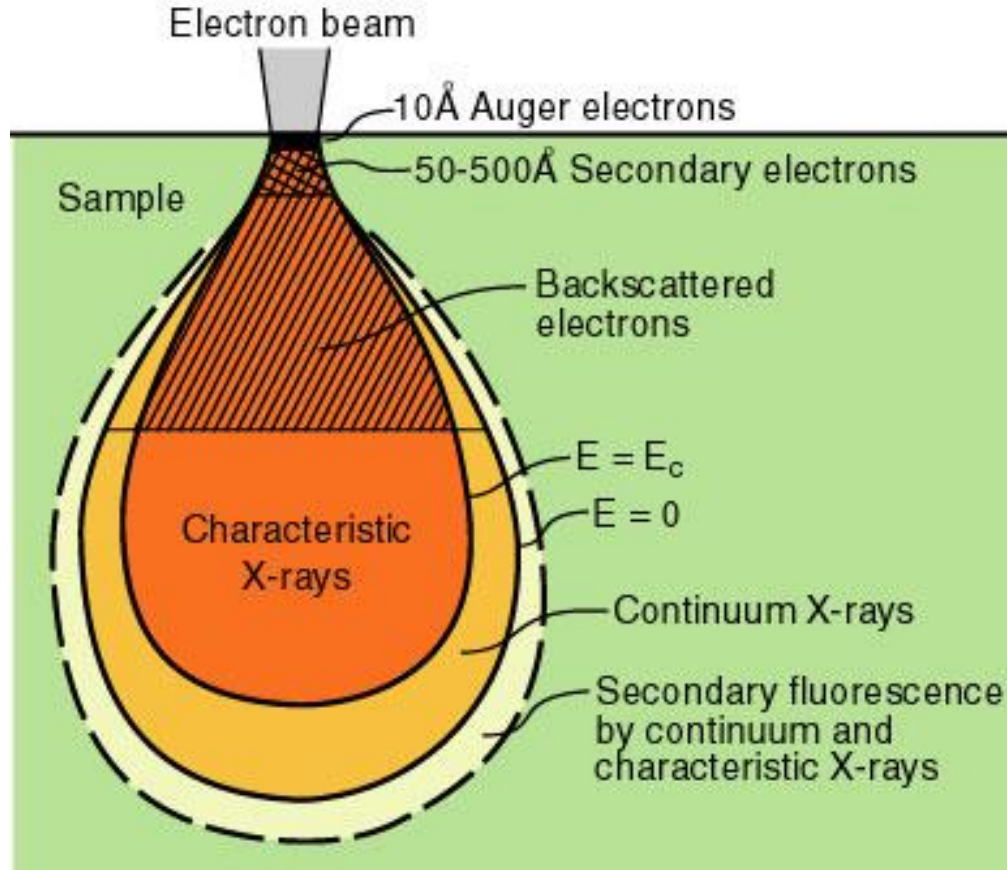
- ikincil elektronlar
- geri saçılan elektronlar
- karakteristik X-ışınları
- Auger elektronları



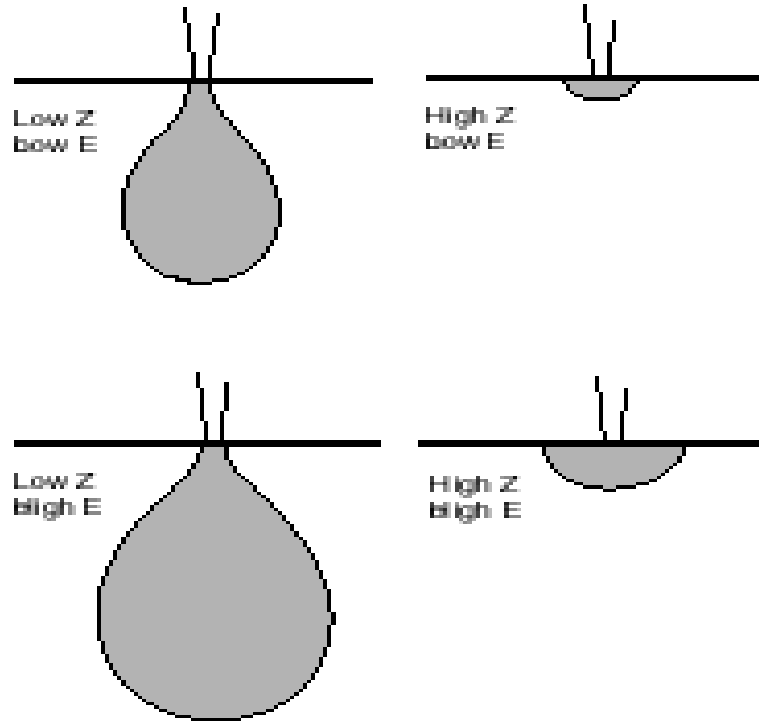
Sinyal	Bilgi	Malzeme	Ayırma gücü
İkincil elektronlar (SE)	Morfoloji topografi	Hepsi	$\sim 1 \text{ nm}$
Geri saçılan elektronlar (BSE)	Atom numarası ilişkisinden faydalanarak görüntü elde edilir.	Hepsi	$0.1-0.5 \text{ }\mu\text{m}$
X-ışınları	Atomik bileşim	Düz yüzeyli malzemeler	$\sim 1 \text{ }\mu\text{m}$

ETKİLEŞİM HACMI

Plastik malzemelerde yapılan incelemeler elektron etkileşim hacminin **birkaç mikrometre** boyutunda, derinliği genişliğinden daha fazla olan armut veya ampul biçiminde olduğunu göstermiştir.

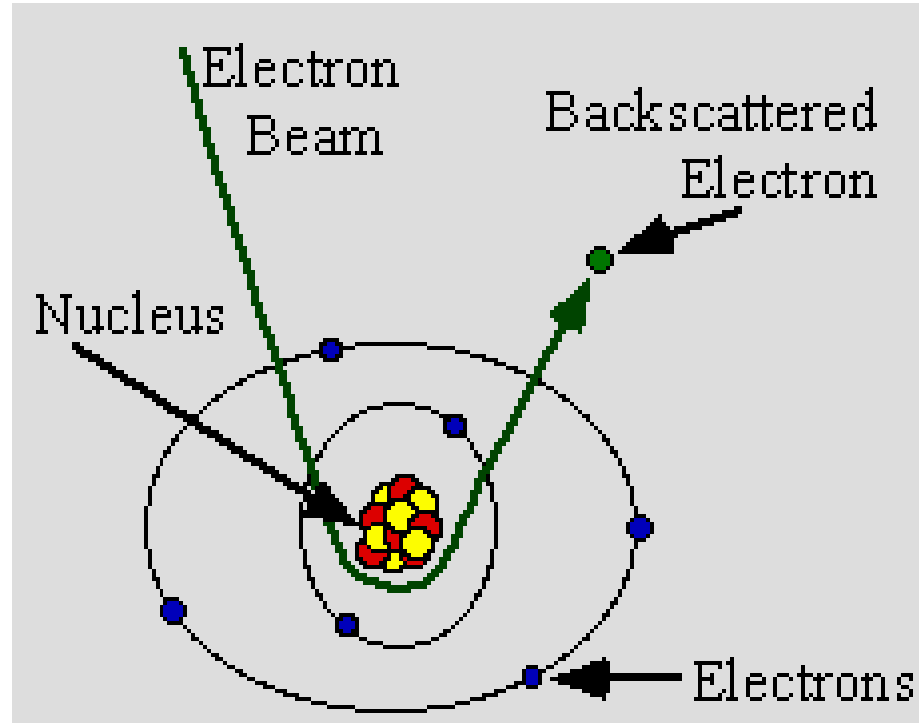


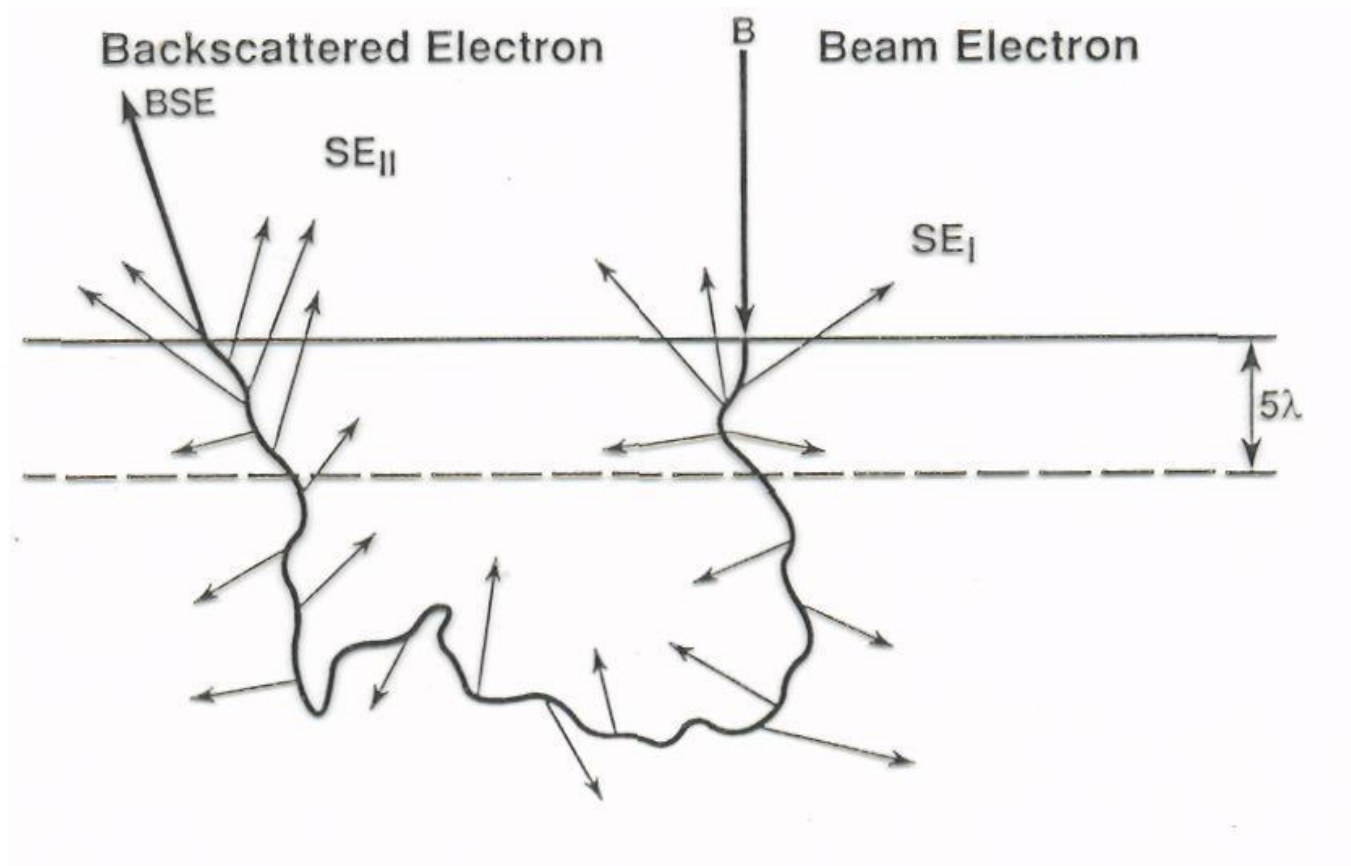
Etkileşim hacminin boyutları ve biçimi, **malzemenin atom numarası, elektron demetinin enerjisi ve eğim açısıyla** belirlenir.



GERİ SAÇILAN ELEKTRONLAR (BSE)

Numuneye çarpan elektronların büyük bir bölümü atom çekirdeği tarafından elastik saçılarak yüzeyden geri çıkabilmektedir. Yüzeyden çıkan bu demet elektronlarının tümüne GERİ SAÇILAN ELEKTRONLAR denilmektedir.





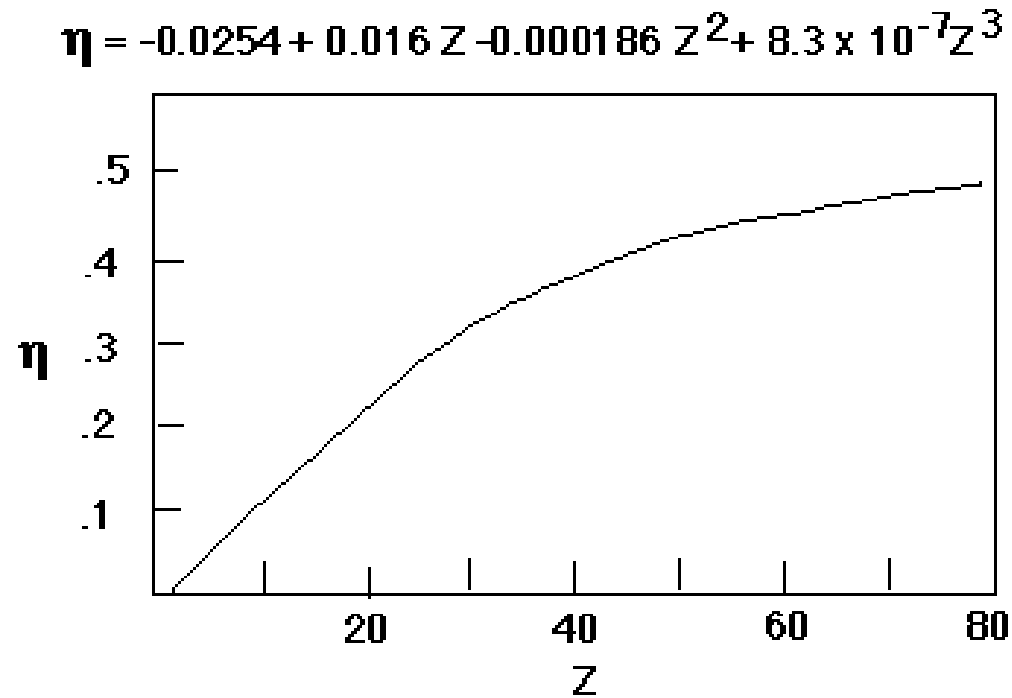
Geri saçılmış elektron sayısının, numuneye çarpan elektronların sayısına bölümü geri saçılmış elektron katsayısı olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{n_{BSE}}{n_B}$$

Geri saçılma, bir dizi elastik saçılma sonucu oluşur. Yön değiştirme açısı, elektronu numuneden dışarı taşıyabilecek değerde olduğunda gerçekleşir. Bu açı 90° den büyük olmalıdır.

Geri saçılan elektron miktarı **atom numarasına**, uyarma gerilimine ve numune eğimine bağlı olarak değişir.

Geri saçılan elektron miktarı **atom numarası** arttıkça artmaktadır.



Z	η
10	0.12
20	0.23
30	0.32
40	0.37
50	0.43
60	0.45
70	0.48
80	0.50

GERİ SAÇILAN ELEKTRON DEDEKTÖRÜ

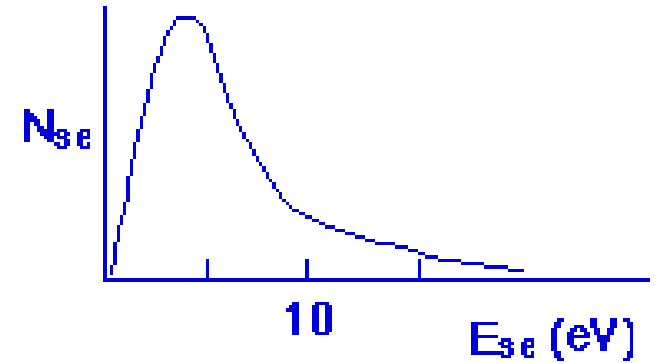
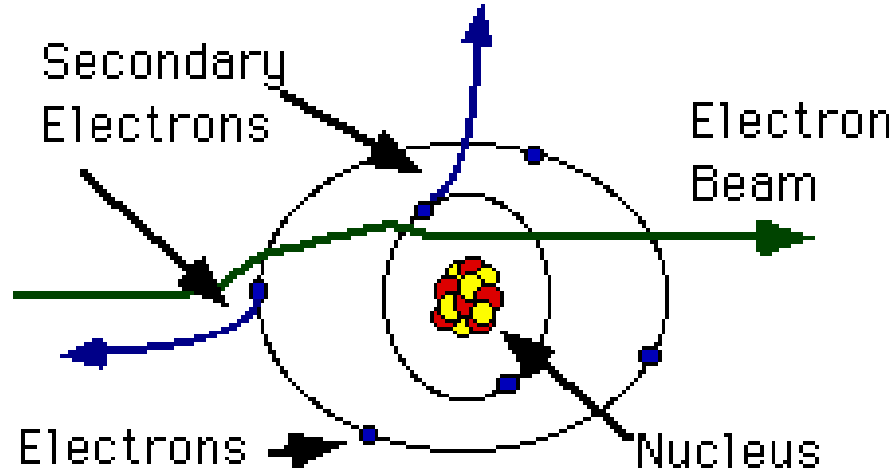


BSE GÖRÜNTÜSÜ



İKİNCİL ELEKTRONLAR

Madde içi dış yörünge elektronları birincil elektronlarla inelastik çarpışma sonucu enerji kazanırlar ve kendi atomunu terk ederler.

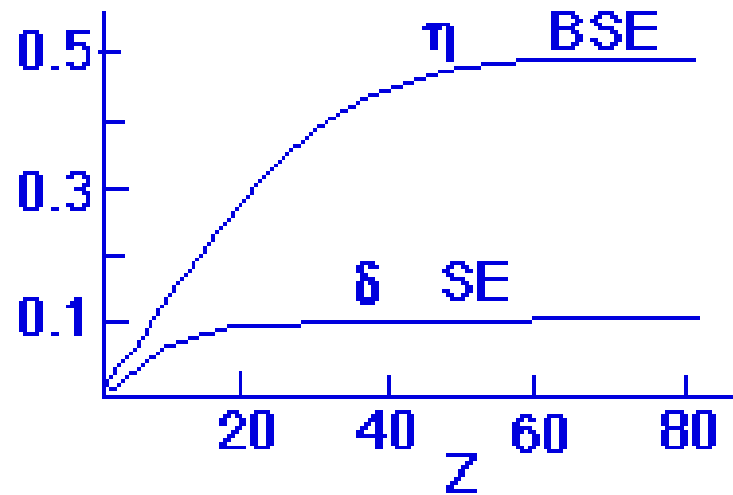


ikincil elektron katsayısı, numuneden saçılan ikincil elektron miktarının, elektron demetindeki elektron sayısına bölümüyle elde edilir. İ akım değerleridir.

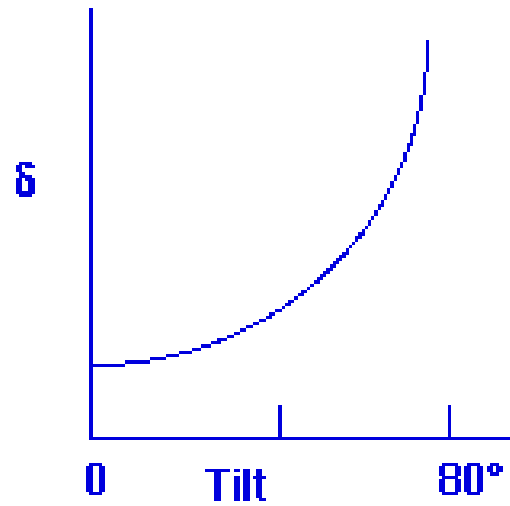
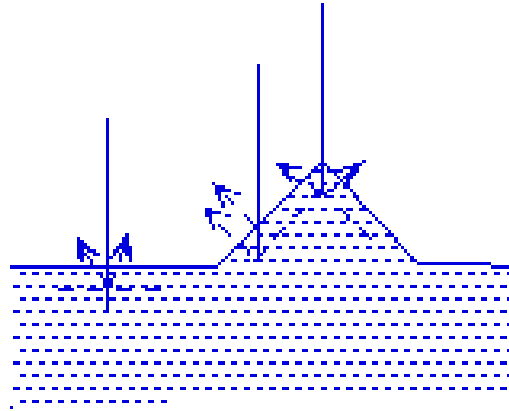
$$\delta = \frac{n_{SE}}{n_B} = \frac{i_{SE}}{i_B}$$

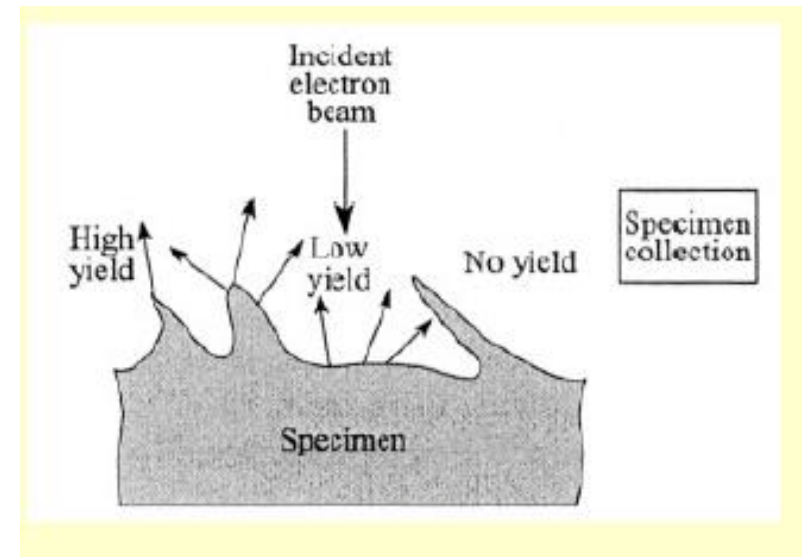
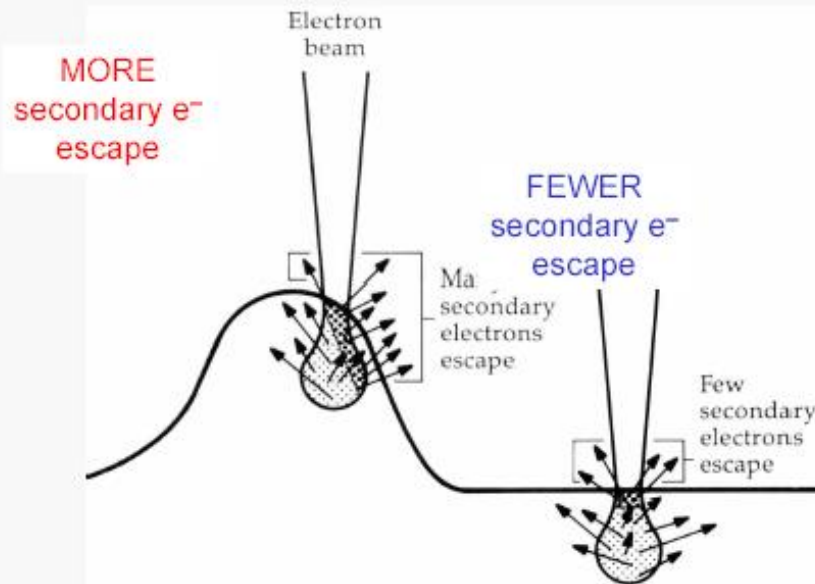
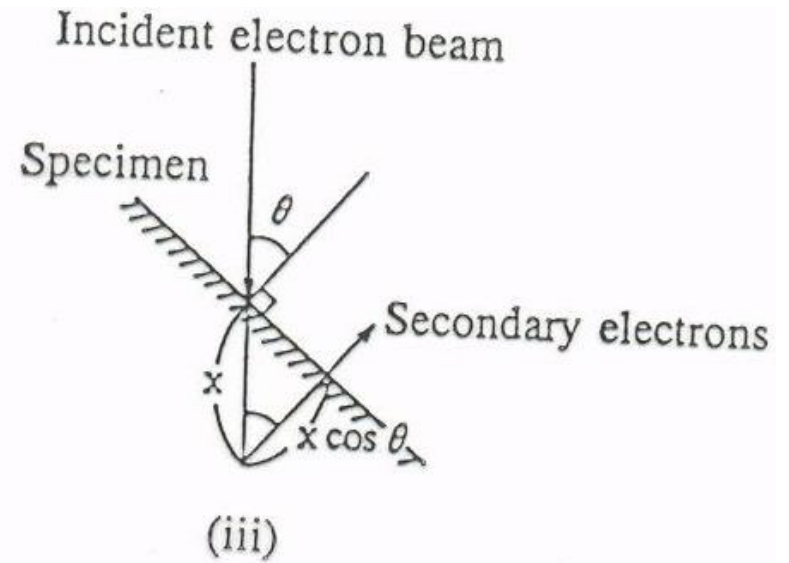
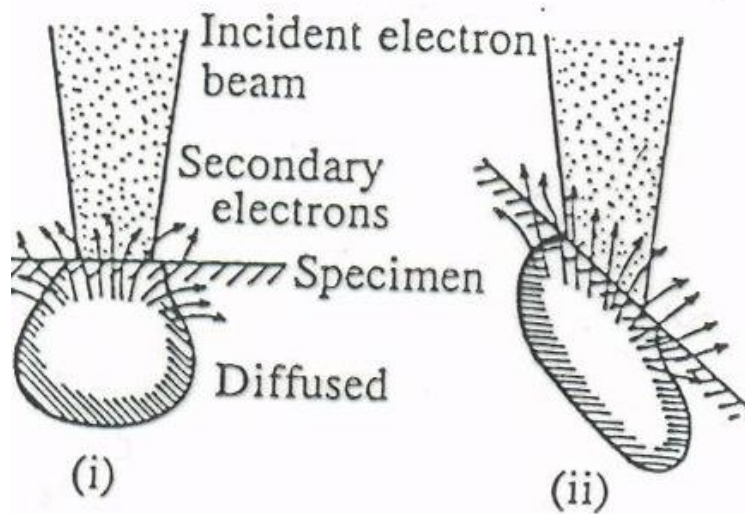
İkincil elektronlar, tüm etkileşim hacmi içerisinde oluşurlar. Ancak, bunlardan sadece yüzeyden ortalama kaçma derinliğinde olanlar algılanır ve değerlendirilir.

SE miktarı **atom numarası** ile etkilenmez.



ikincil elektron katsayısını en çok etkileyen faktör demet-numune açısıdır.

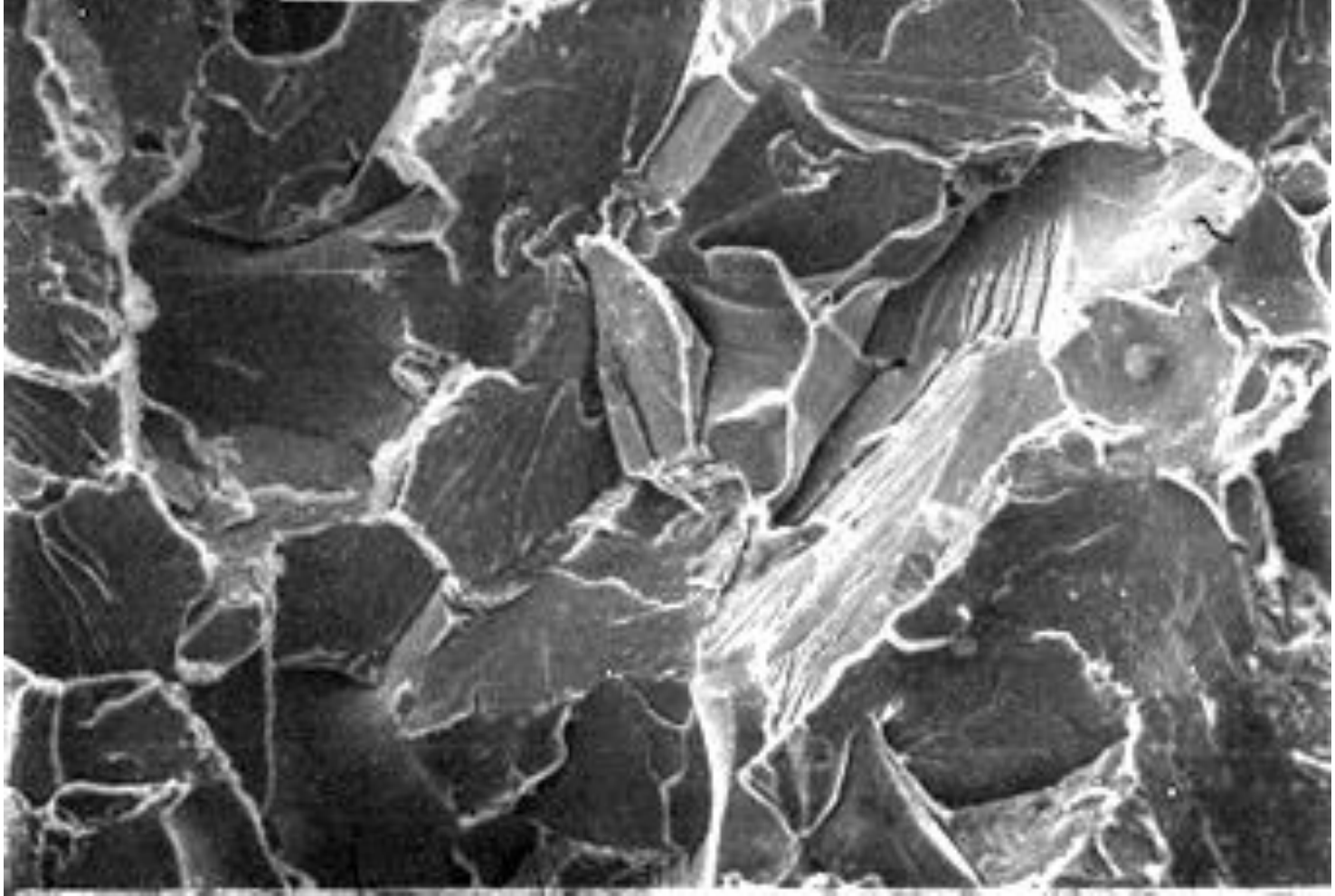




SE DEDEKTÖRÜ

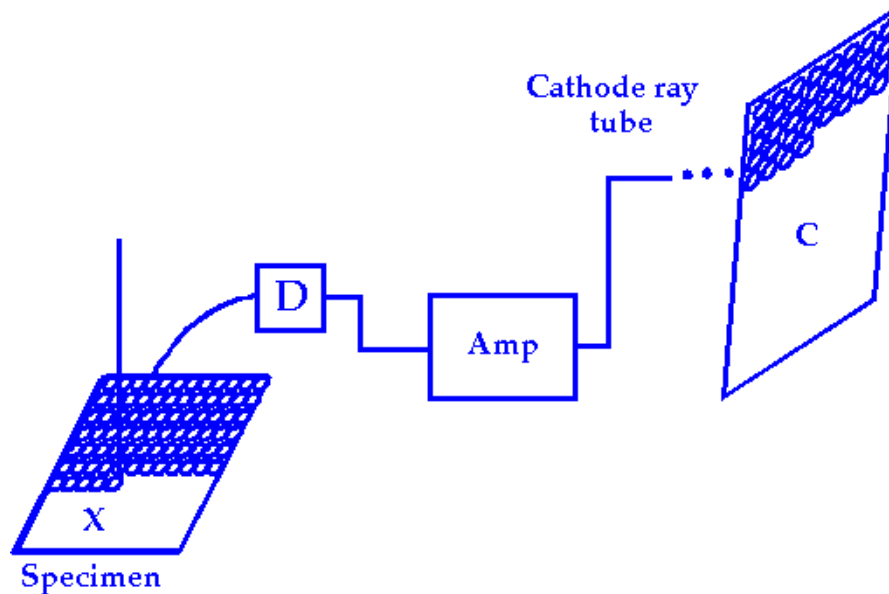


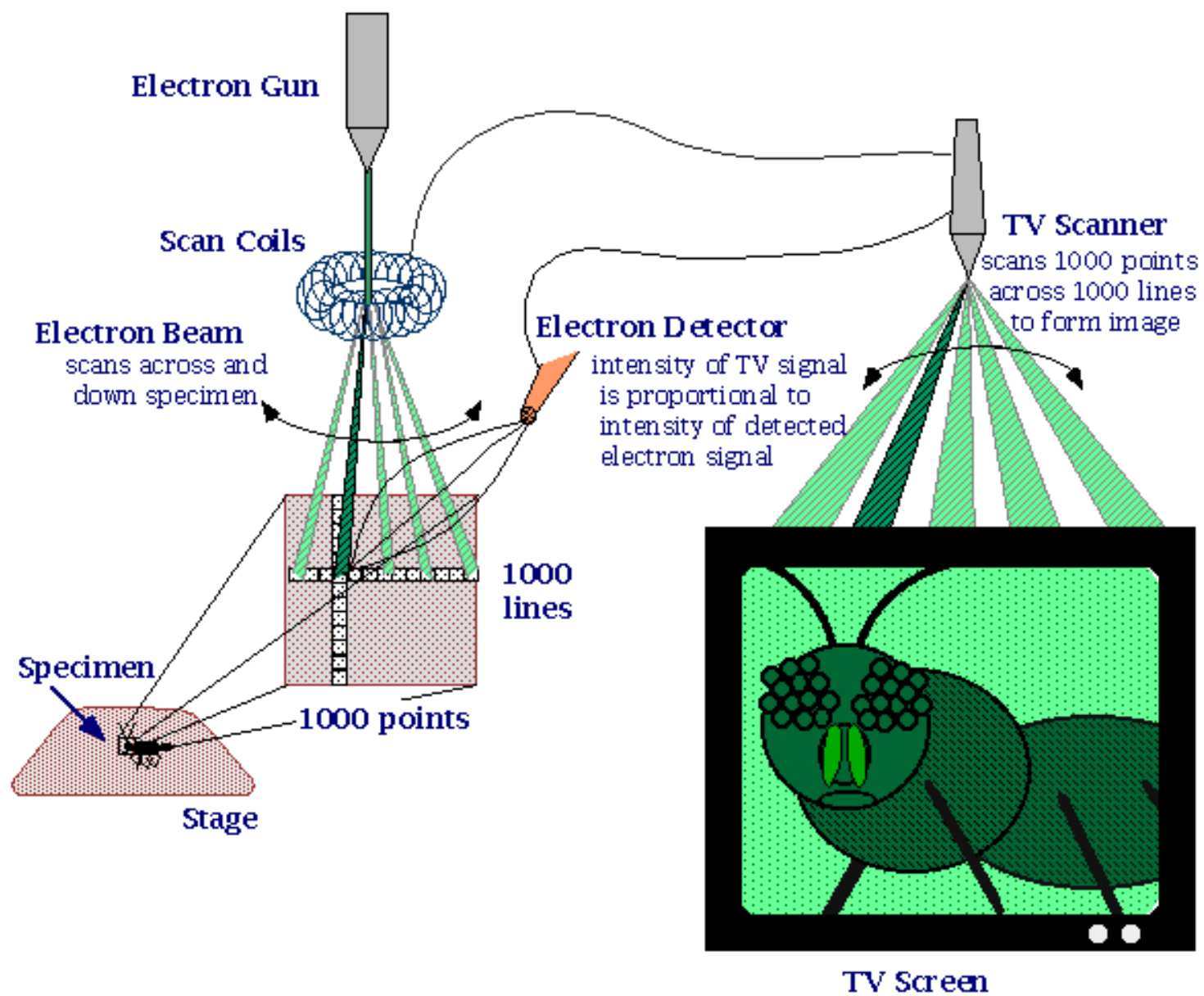
SE İLE ELDE EDİLMİŞ KIRIK YÜZEY GÖRÜNTÜSÜ



Görüntü Oluşumu – Tarama

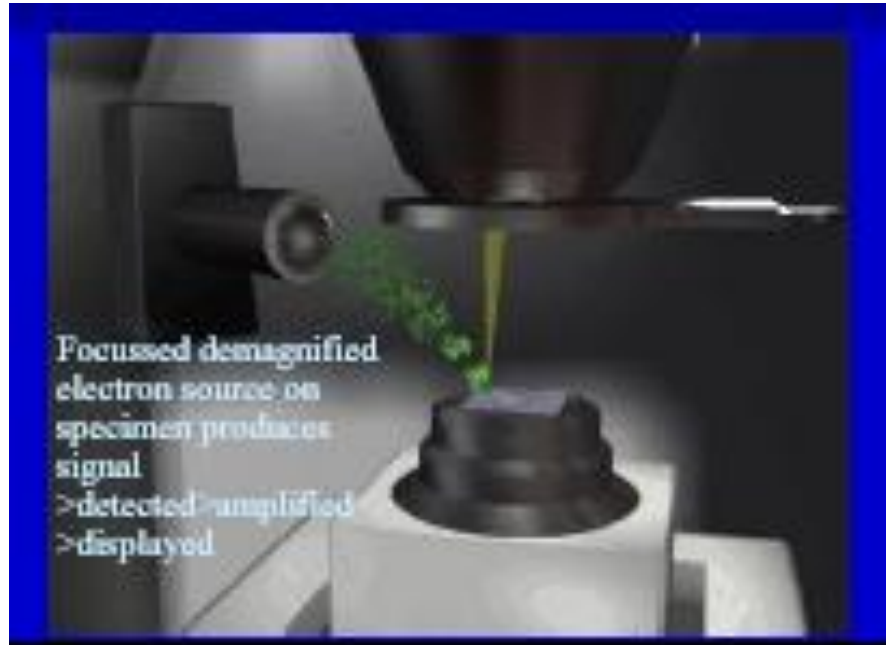
- Tarama işlemi, tarama bobinlerindeki akımı zamana bağlı olarak değiştirerek numune yüzeyinde demeti çeşitli pozisyonlarda hareket ettirmek olarak tanımlanır.
- X ve Y koordinatlarında hareket ettirilen ışının numune yüzeyinde oluşturduğu tepki detektörler yardımıyla takip edilir.
- Görüntü aynı tarama jeneratörü tarafından kontrol edilen sistemle CRT üzerindeki taramayla senkronize olarak oluşturulur.

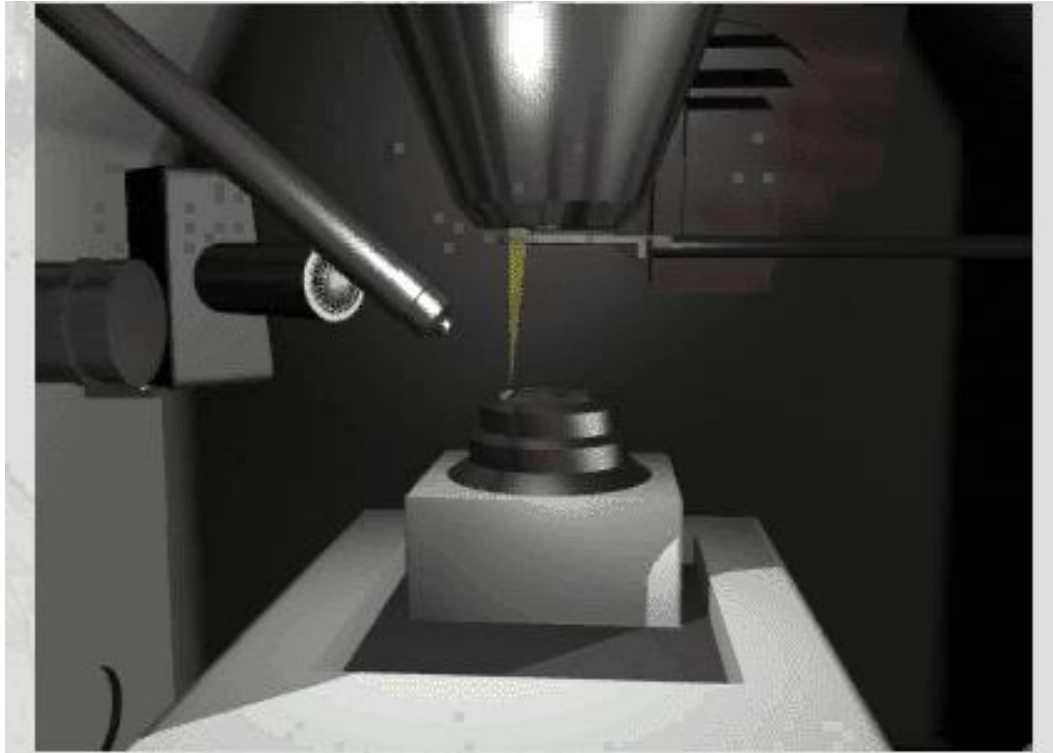




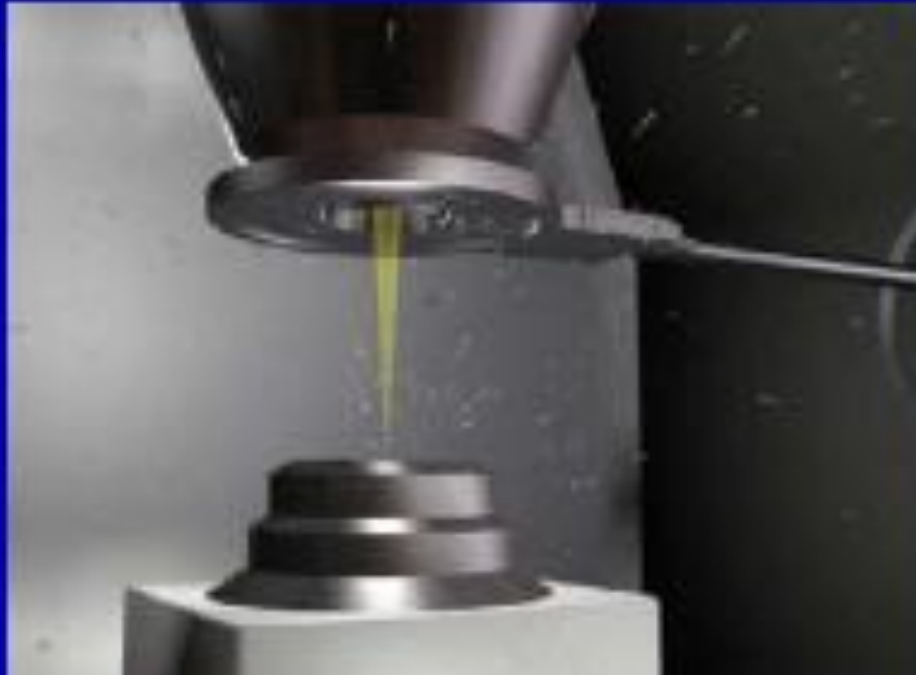
DETEKTÖRLER

- SEM' de görüntünün oluşturulabilmesi için, elektron ve numune etkileşmesi sonucu yüzeyden ayrılan değişik türlerdeki sinyallerin toplanarak sisteme bağlı elektronik düzenek tarafından işlenmesi gerekir. Detektörler bu sinyalleri toplar ve elektrik sinyallerine dönüştürür.





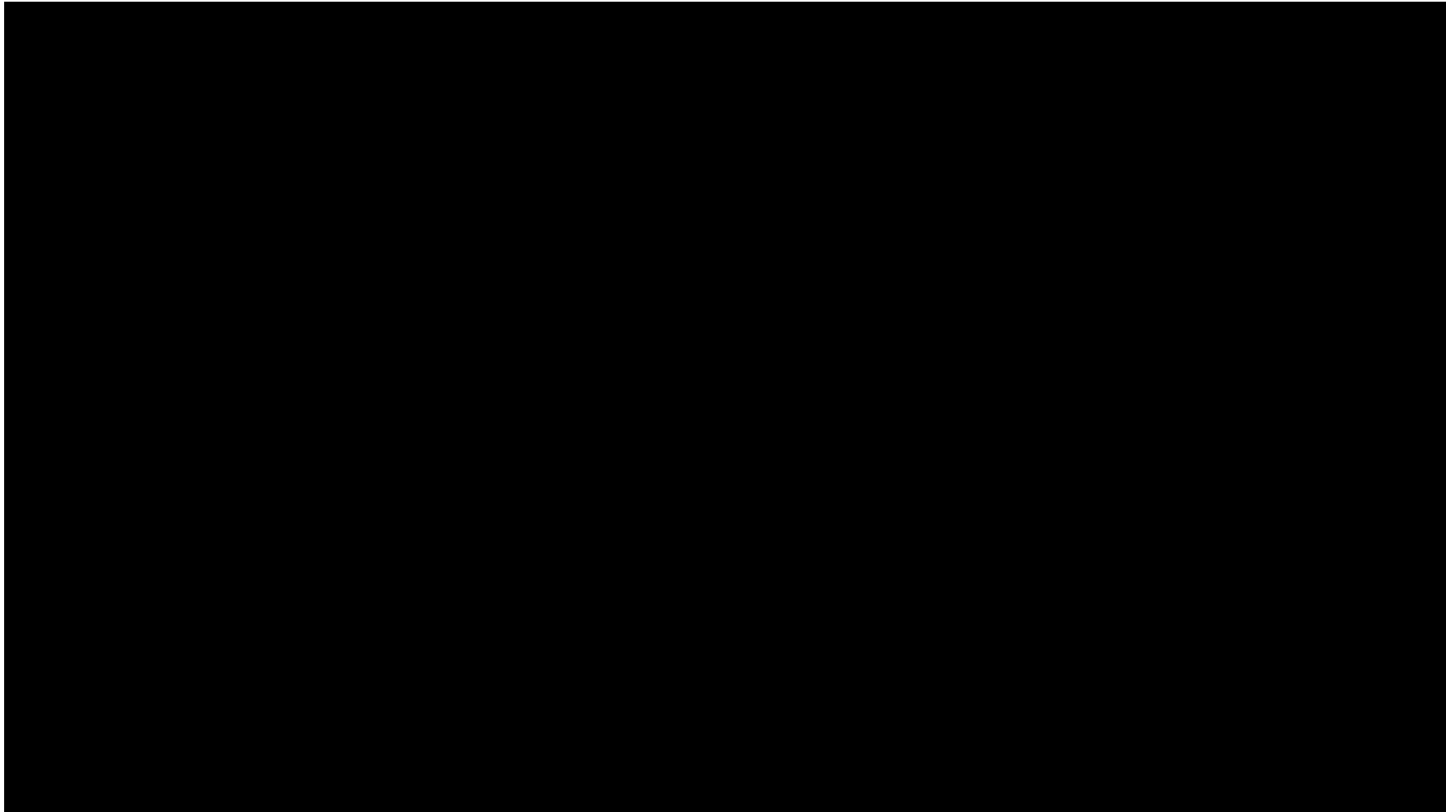
BSE detector



SEM (TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU) İÇİN NUMUNE HAZIRLAMA

Numune hazırlama esnasında dikkat edilecek noktalar

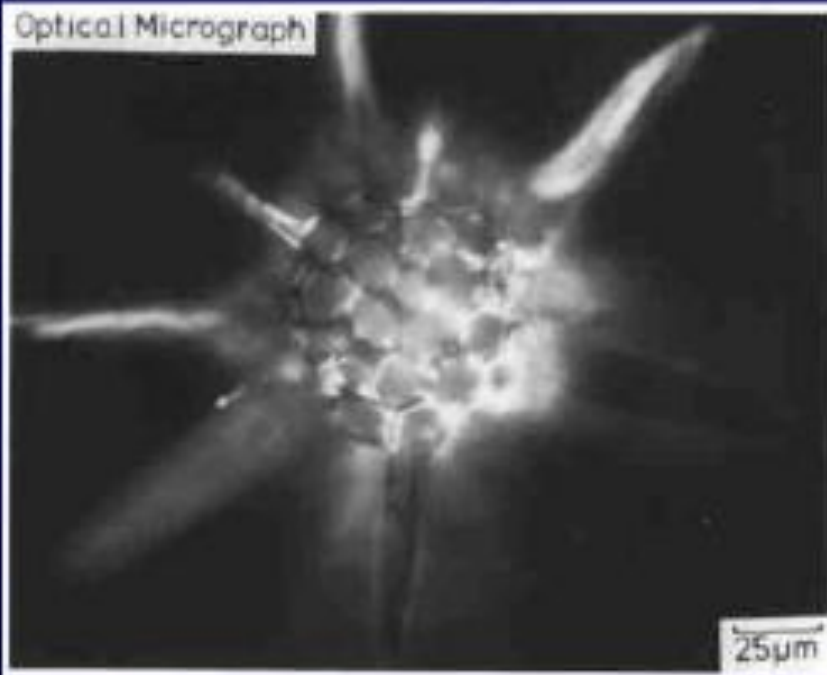
1. **Numunenin büyüklüğü** (gerekirse), numuneyi koyacak veya tutacak yere (holders and stages) uyması için küçültülmelidir.
2. Madde SEM içindeki **yüksek vakuma karşı** koyabilmelidir. Maddenin şekil değişmemeli ve fazla gaz çıkarmamalıdır.
3. Numune **temiz, tozsuz, lekesiz ve yağsız** olmalıdır. (Bunların oluşu yük birikimi ve kirlenme etkilerine yol açabilir.)
4. Numunenin **altınla kaplanması** gibi şeyler ikincil ürünün (secondary yield) az miktarlarda kullanıldığında daha iyi olmasını sağlayabilir.
5. **Numunenin yüzeyi ile numunenin tutucusu arasında iyi bir elektrik** teması olmalıdır. Mesela numuneye gümüş-dag gibi iletken boyalar sürülür ve gerekirse numune yeteri kadar kaplanır.
6. **Numune tutucusu mümkün olduğunca az backscattered ve secondary elektronlara yol açmalıdır.** Genellikle **alüminyum tutucular** kullanılır,
7. Numune, **numune tutucusuna sabitlenmelidir.**



***TARAMA ELEKTRON
MİKROSKOPU İLE
ALINMIŞ GÖRÜNTÜLER***

https://www.youtube.com/watch?v=oREL-g1ge0Y&list=PLqsQ0fYcWx_UNk9ehxcuAE_Pd7BHFb3gg&index=5&t=39s

Optical Micrograph

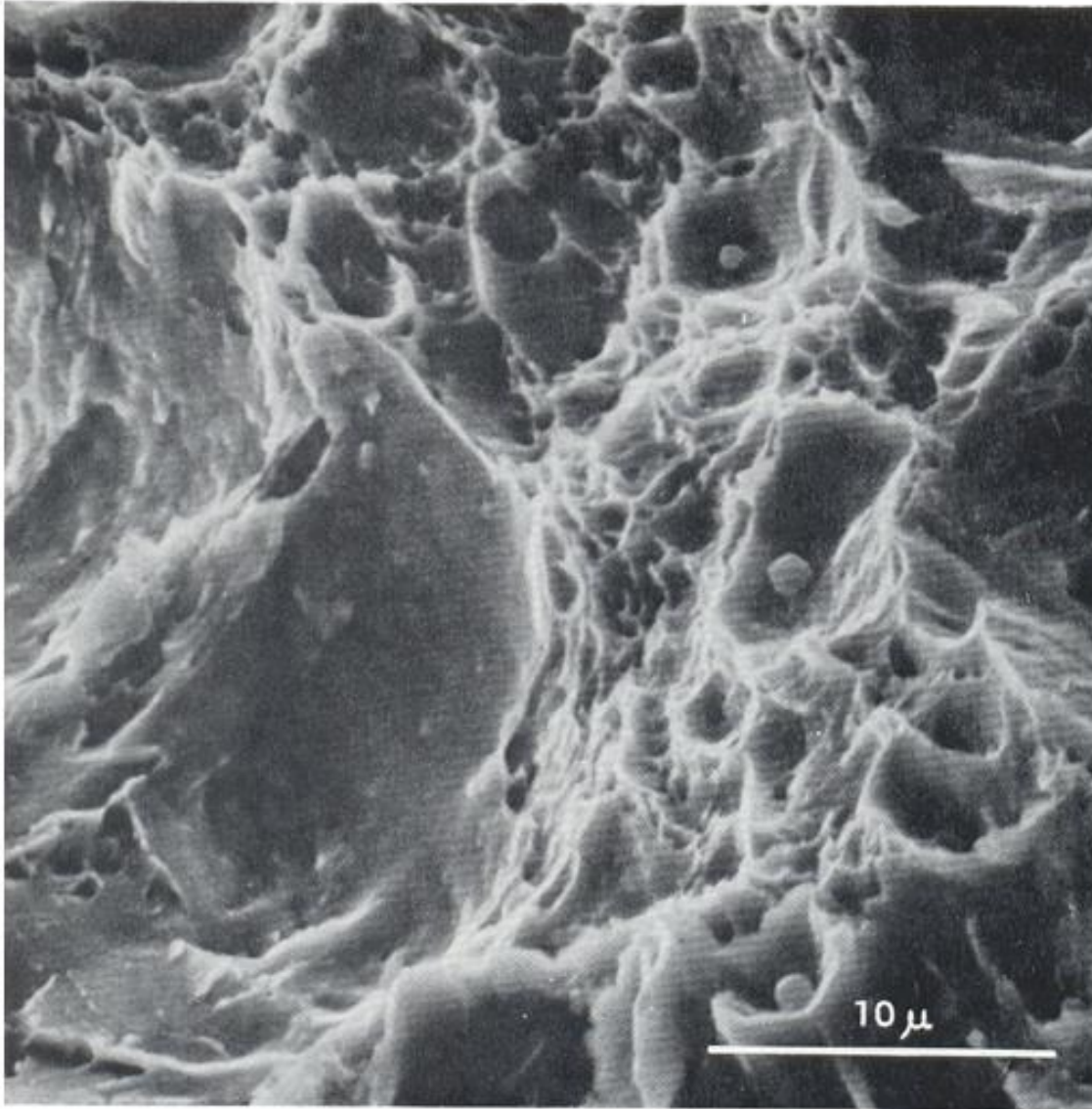


25μm



Radiolarian

HY80 Çeliğinde sünek (Ductile) kırılma yüzeyi



Ductile Fracture Surface
in HY80 Steel

Charpy testing was carried out in a HY80 steel of tempered martensitic structure.

Photo shows a scanning electron micrograph of ductile fracture surface of the alloy at -75°C . Large precipitate particles facilitate nucleation of voids. However, small particles seem to act as obstacles to the extension of voids, as seen in the inner surface of dimples.

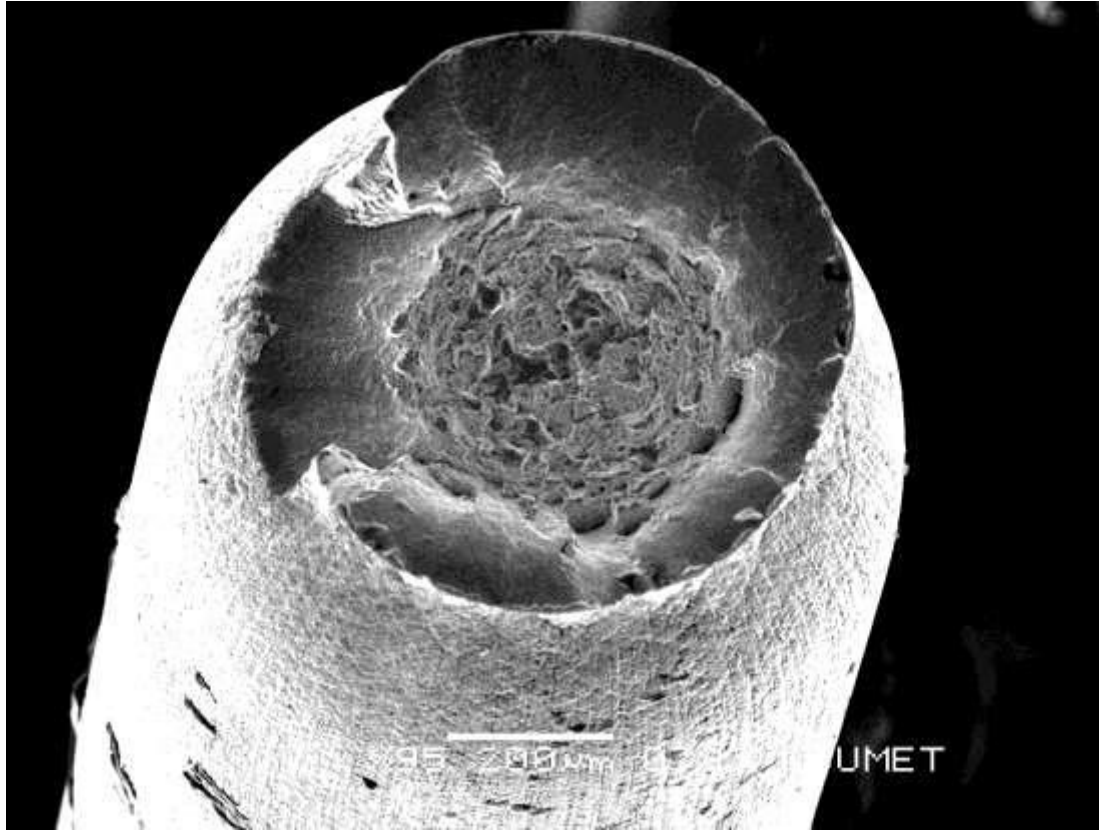
×3,400

Cu-Au Tek Kristalinde Dendrit



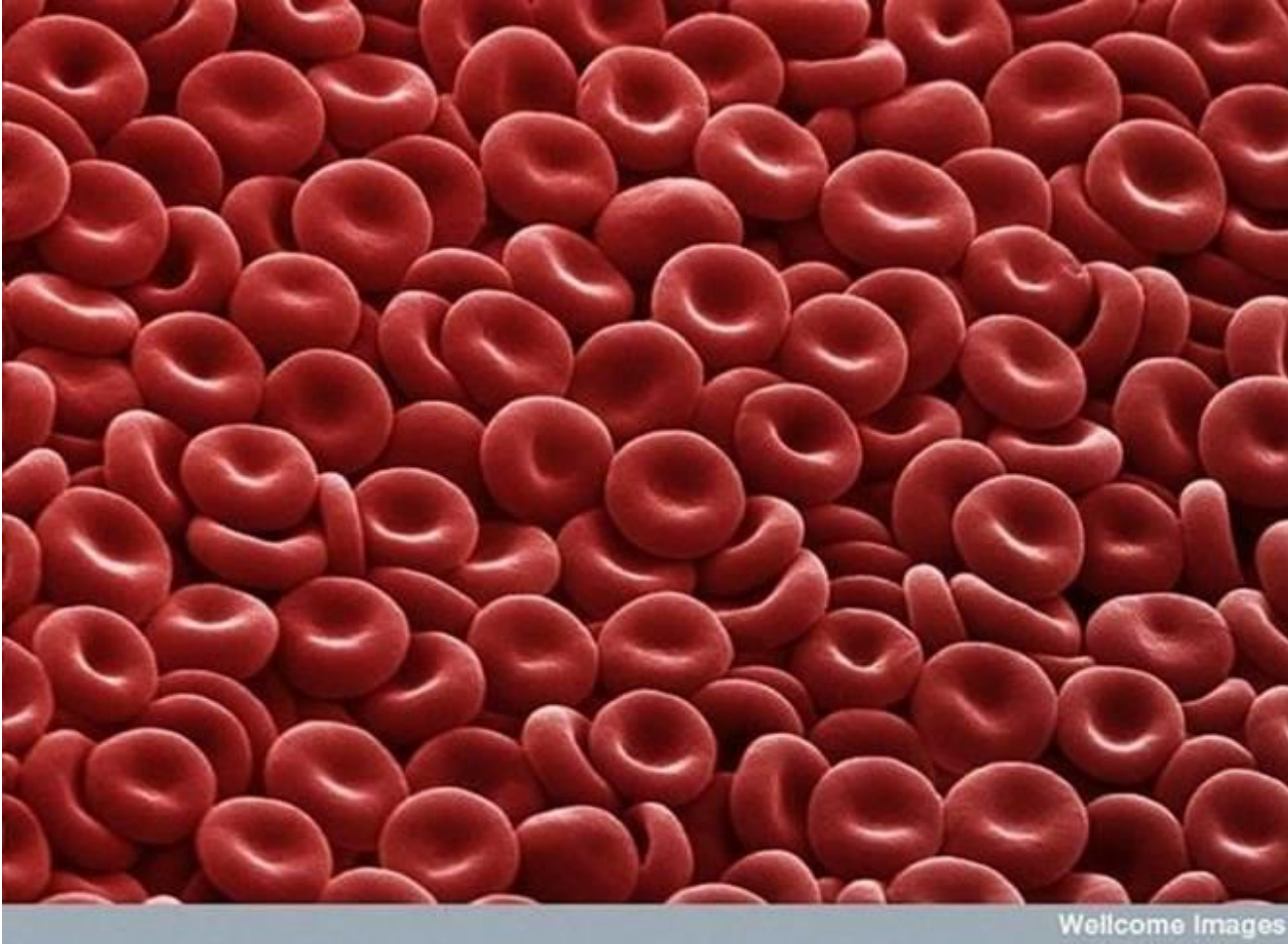
42 X

0.89 mm apında bronz lastik teli numunesinin kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.

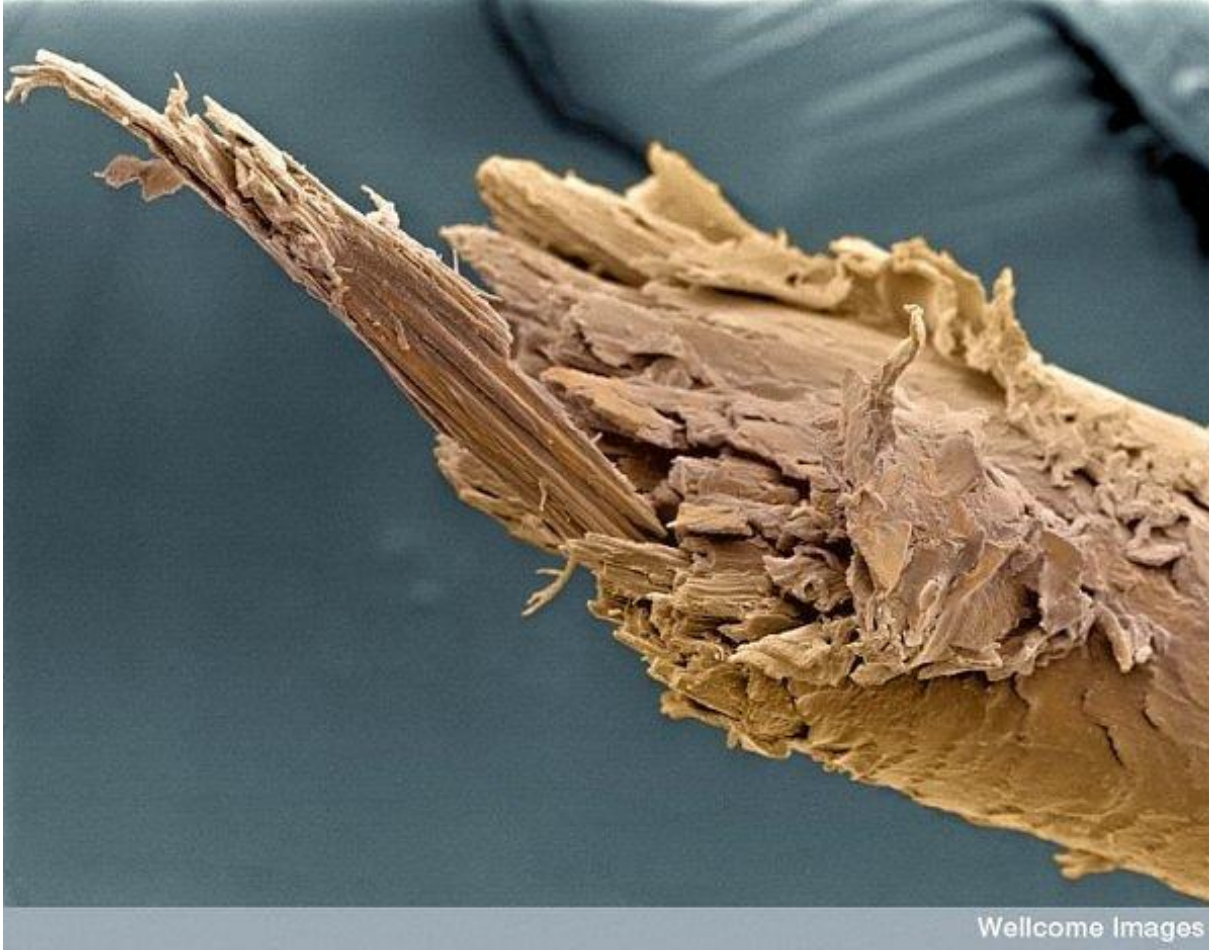


Kırmızı Kan Hücreleri

1 kubik milimetrede, Kadınlarda 4-5 milyon, Erkeklerde 5-6 milyon adet Kırmızı Kan Hücreleri bulunuyor. Görevleri tüm vücuda oksijen taşımak.... Eğer oksijeni düşük bir çevrede yaşıyorsanız bu değerlerinizde artış oluyor...

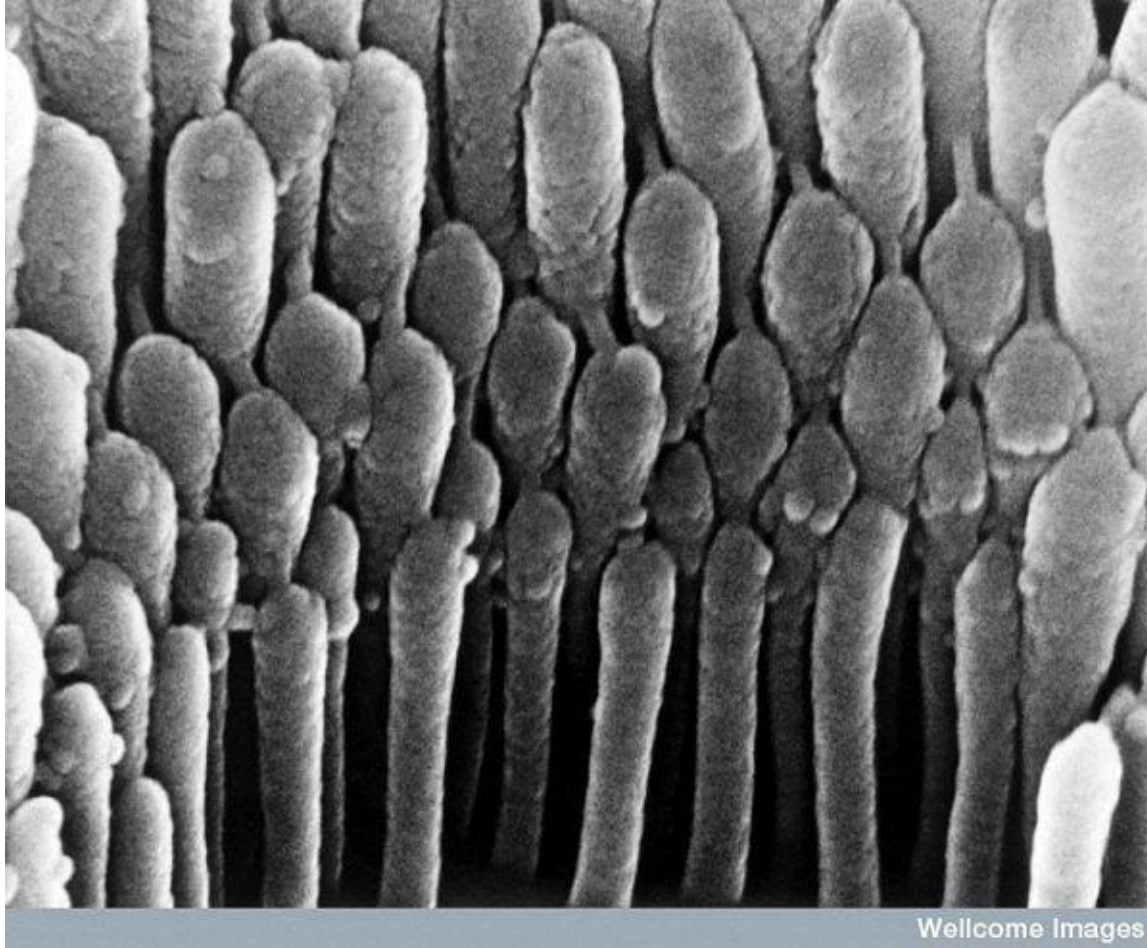


2. Kırık uçlu Saç



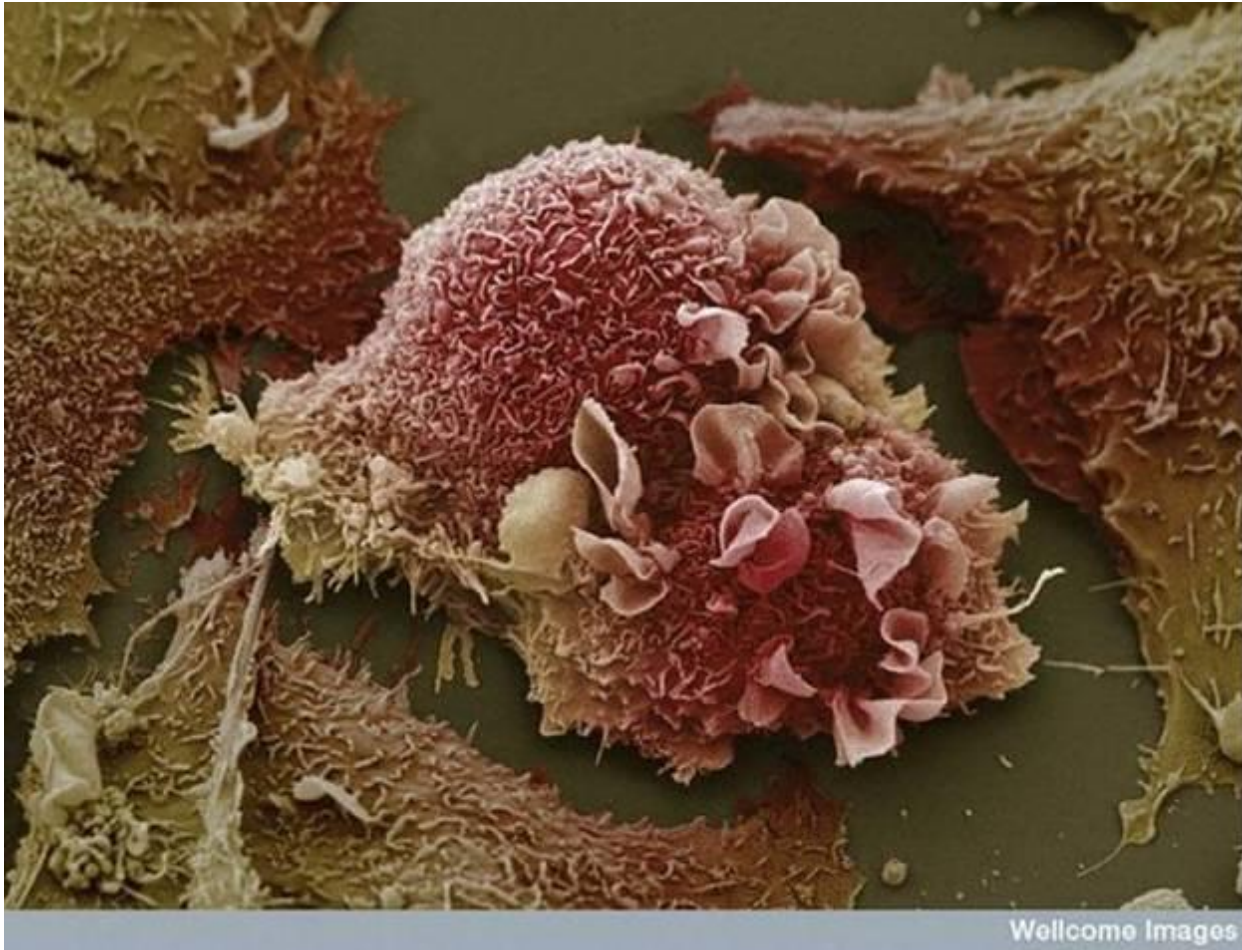
4. Kulak içindeki Saç Hücreleri

Ses vibrasyonlarındaki mekanik hareketleri algılama görevleri var...



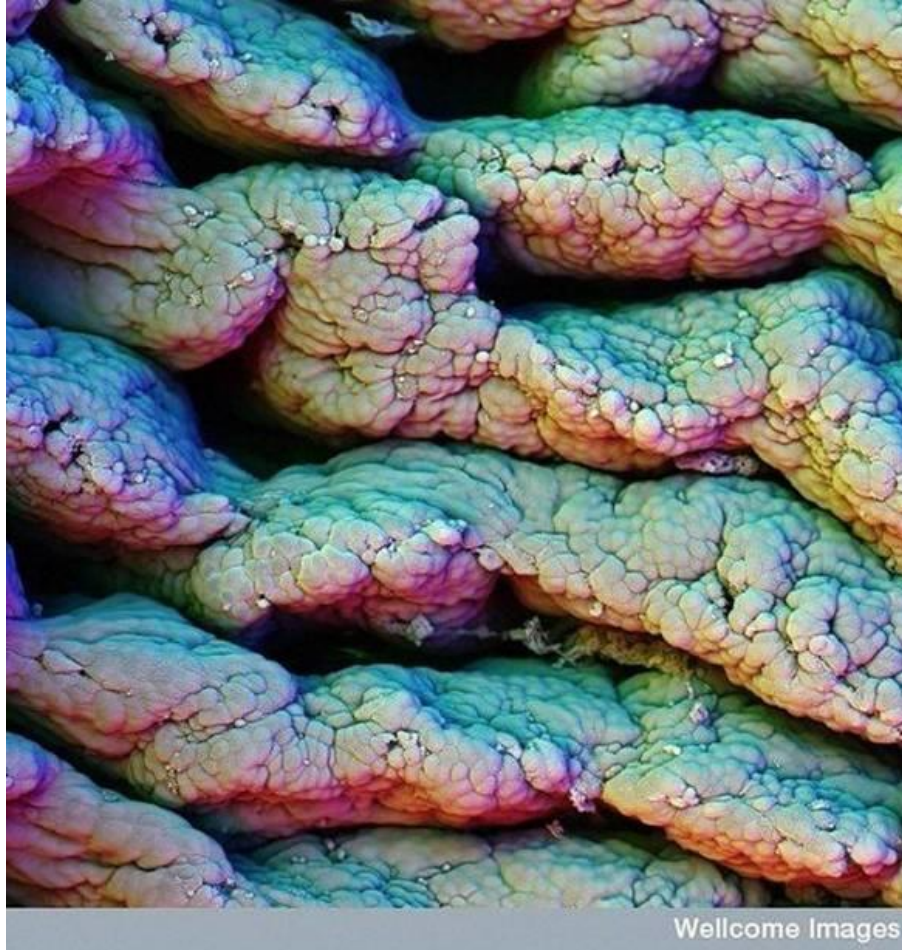
Wellcome Images

10. Akciğer Kanseri Hücreleri

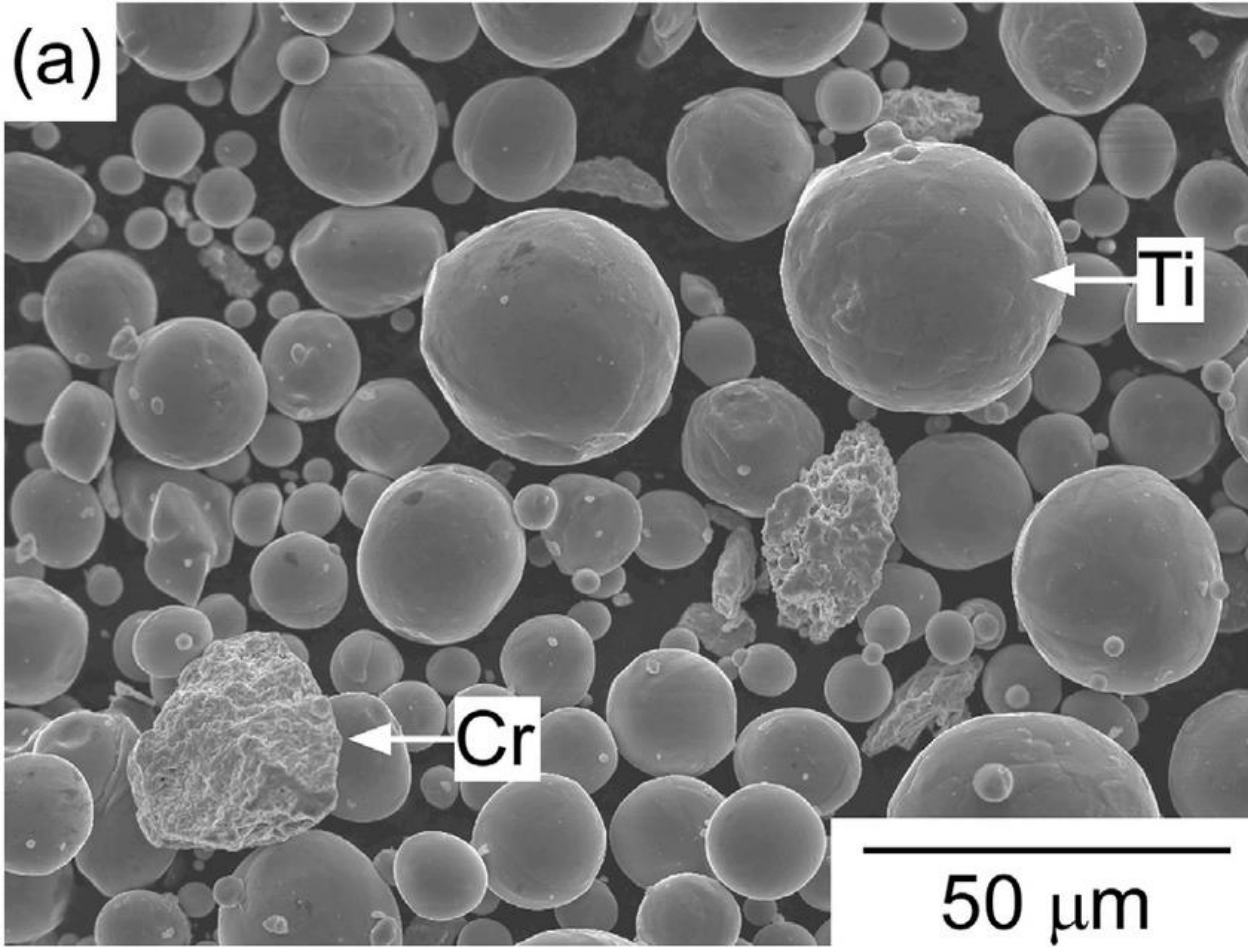


11. İnce Bağısaktaki Villi

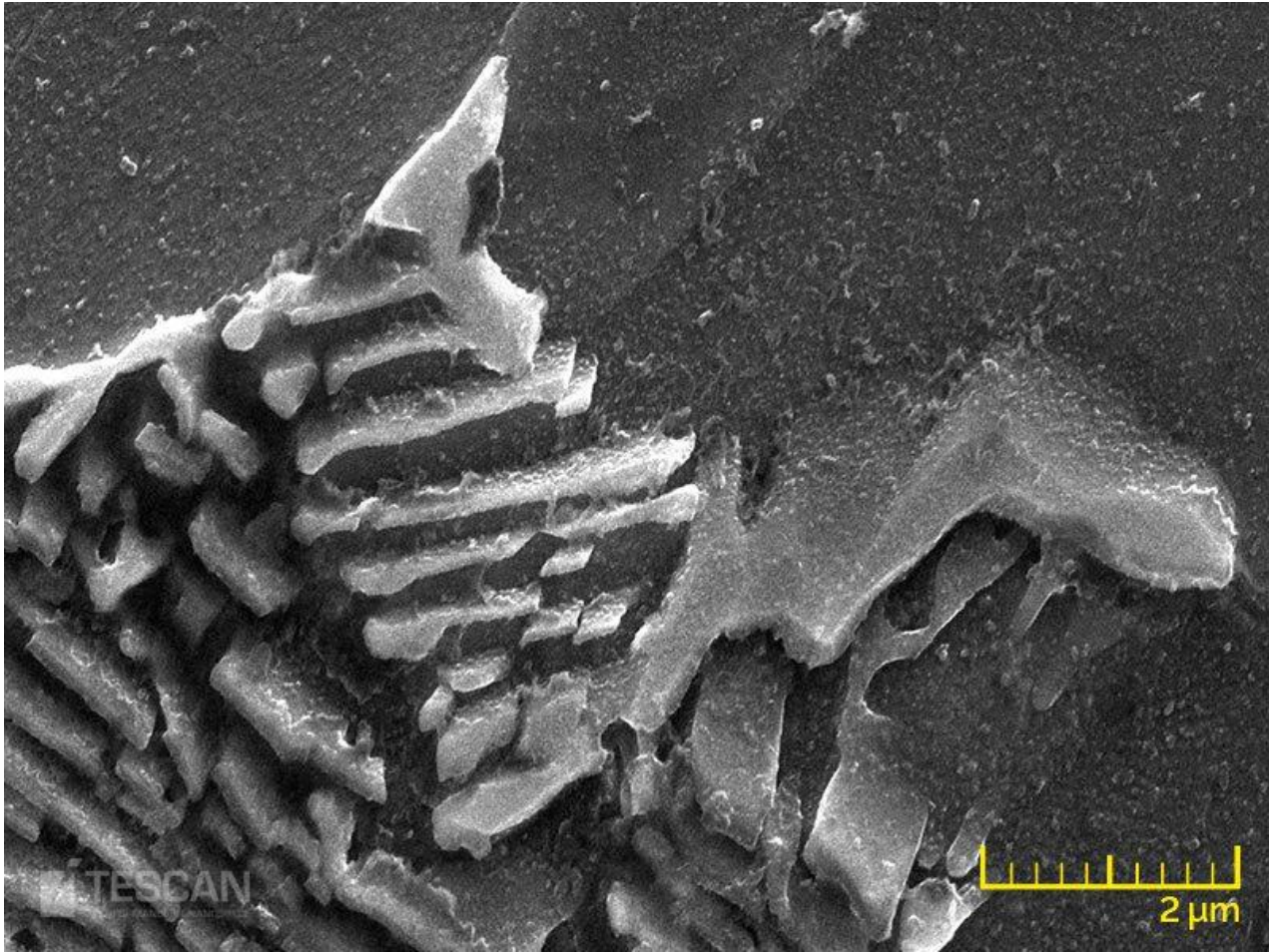
Villi çıkıntıları Bağırsak yüzeyinin daha fazla olmasını sağlıyor ve yemeklerin öğütülmesini sağlıyor. Yakından baktığınızda yüzeye yapışmış yemek artığını görebilirsiniz...



Wellcome Images



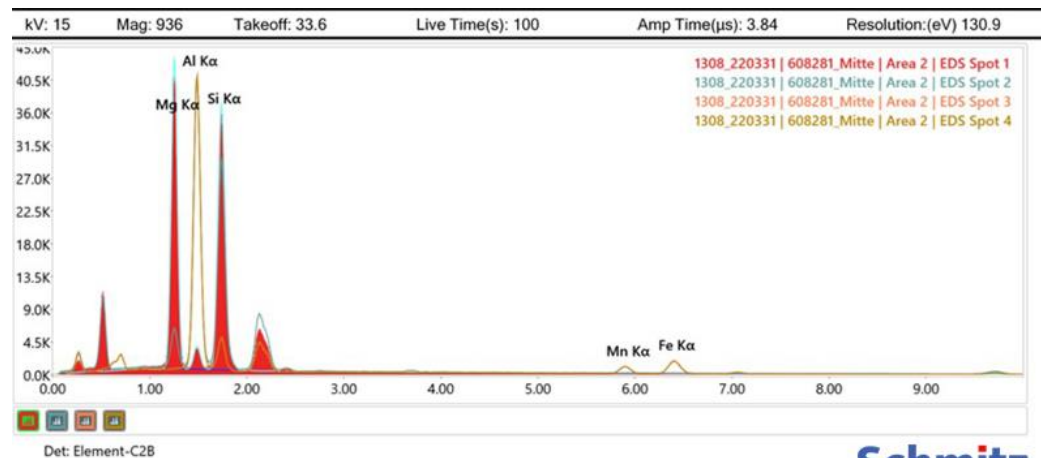
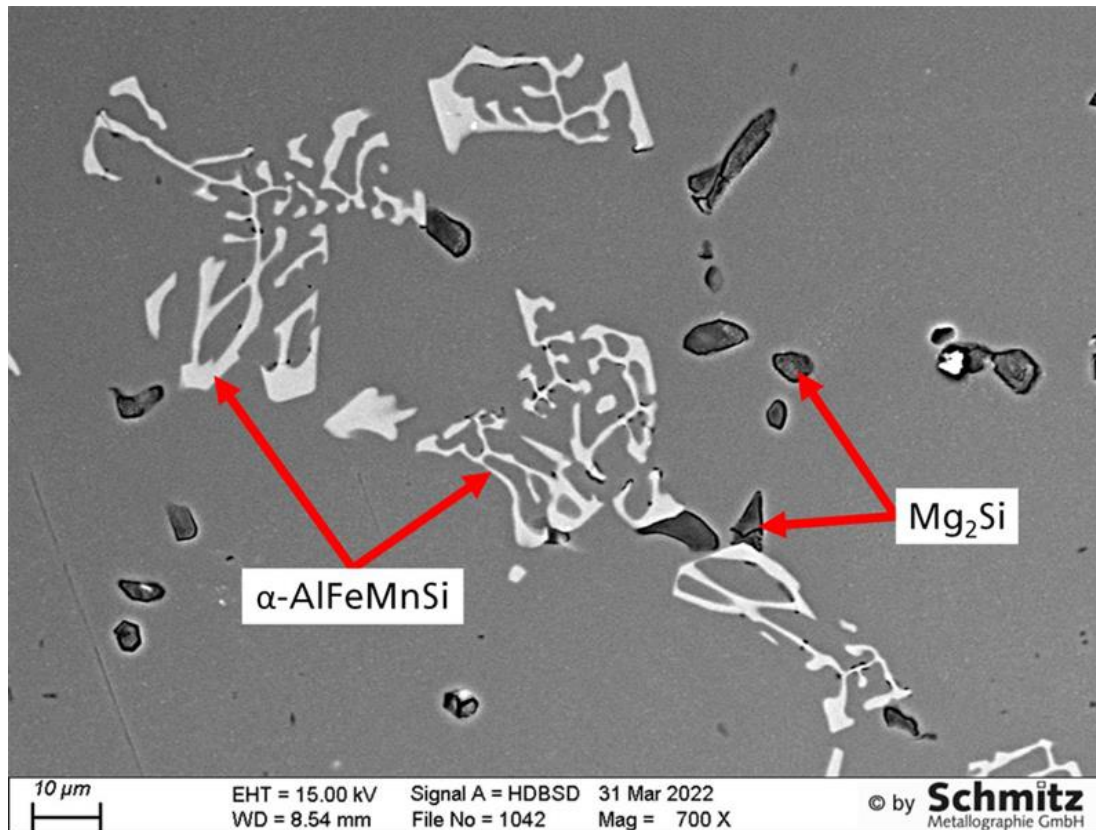
Ti 80 Cr 20 alaşımlarında Ti ve Cr tozlarının karışımının SEM mikro yapısı.

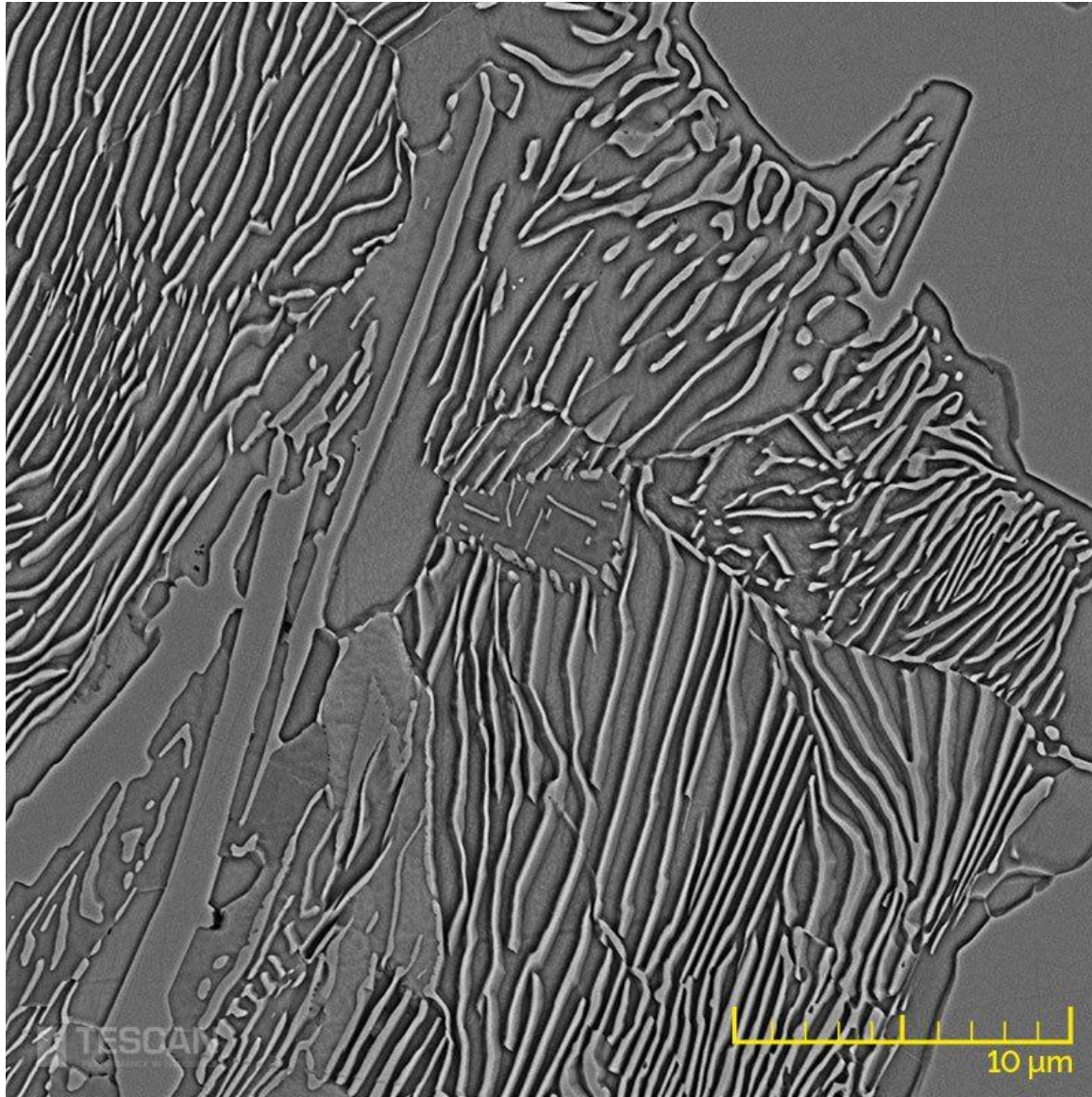


Çelikte perlit yapısı

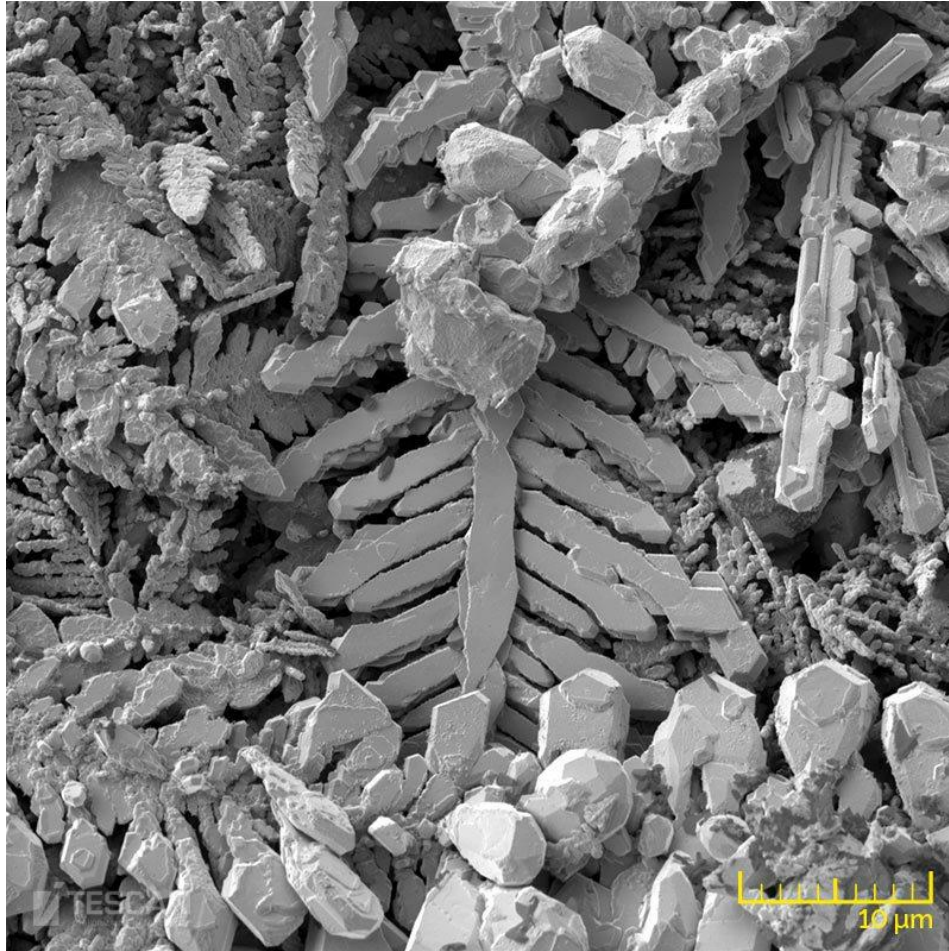


AlSi10 – Metalografik numune

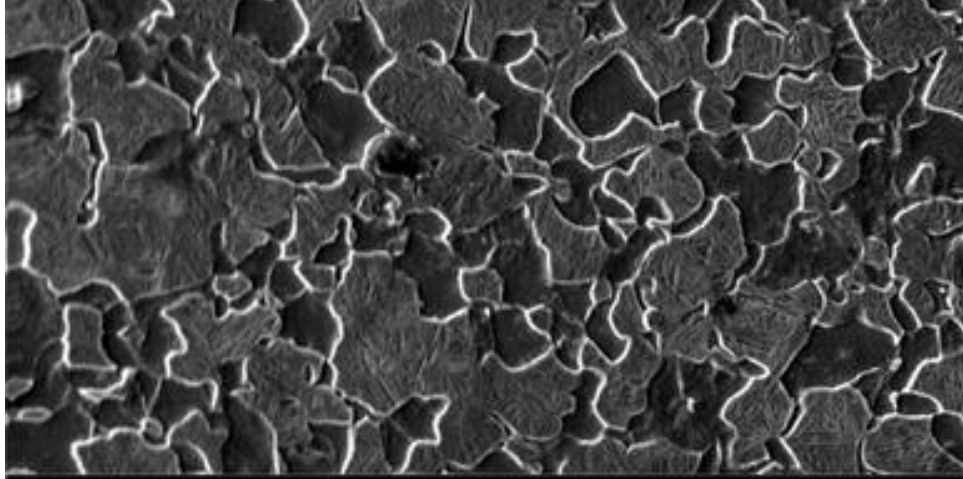




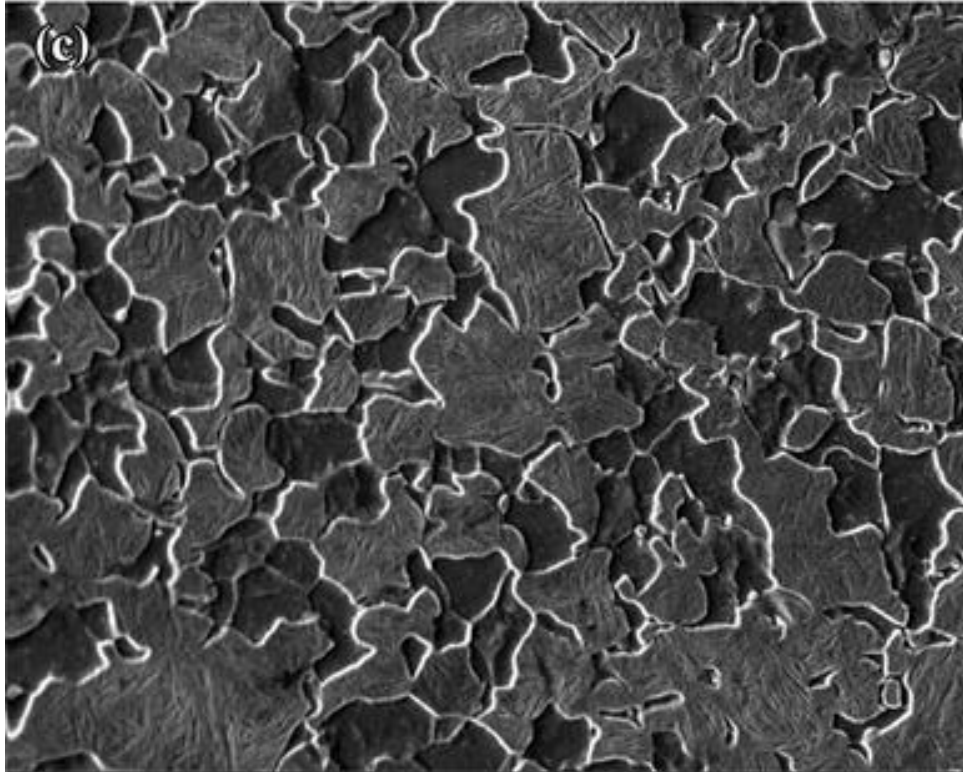
Beyaz dökme demir



Elektrolizden Ag kristalleri

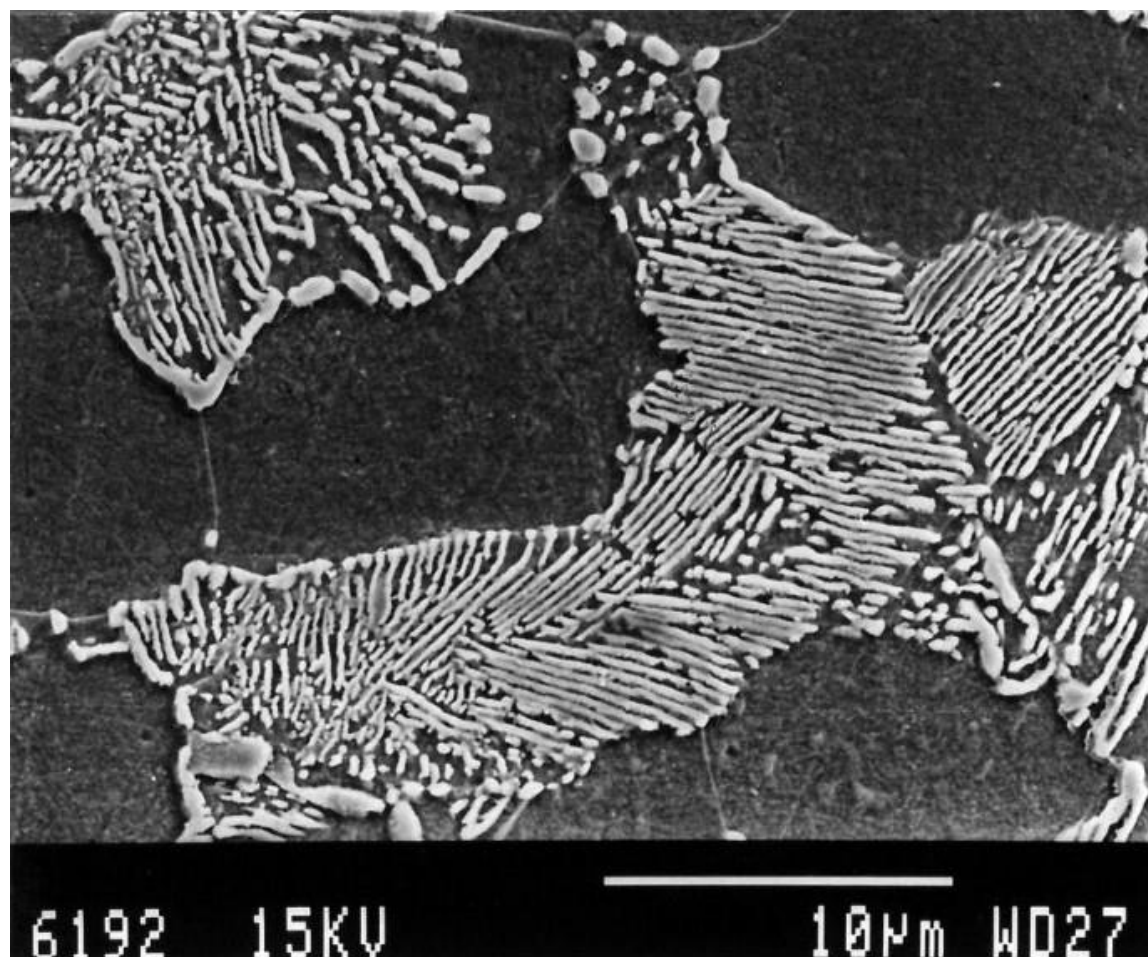


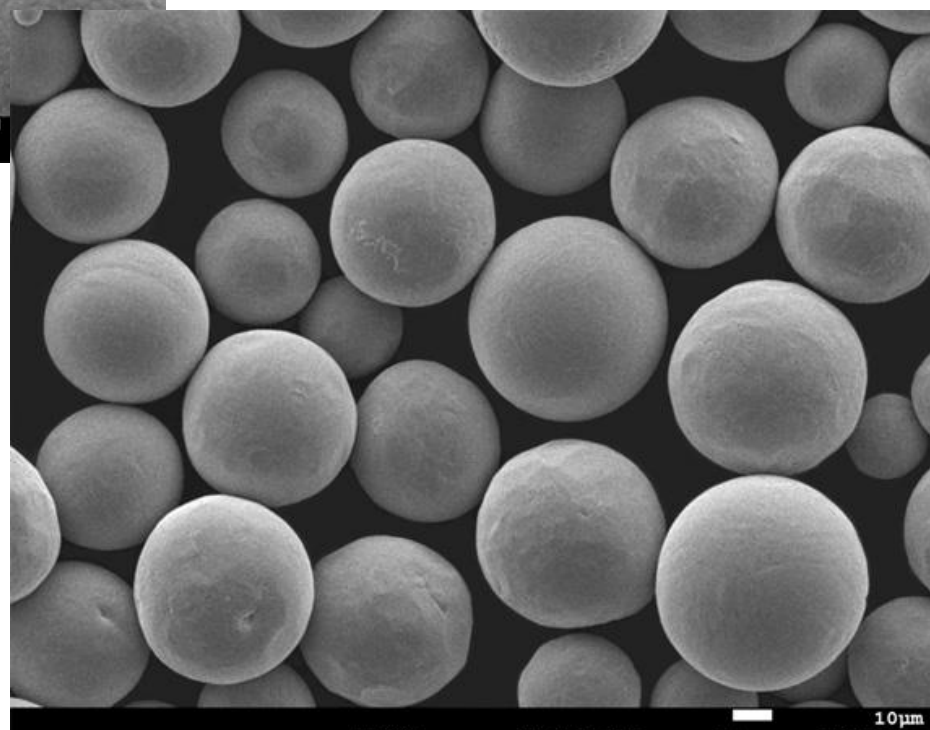
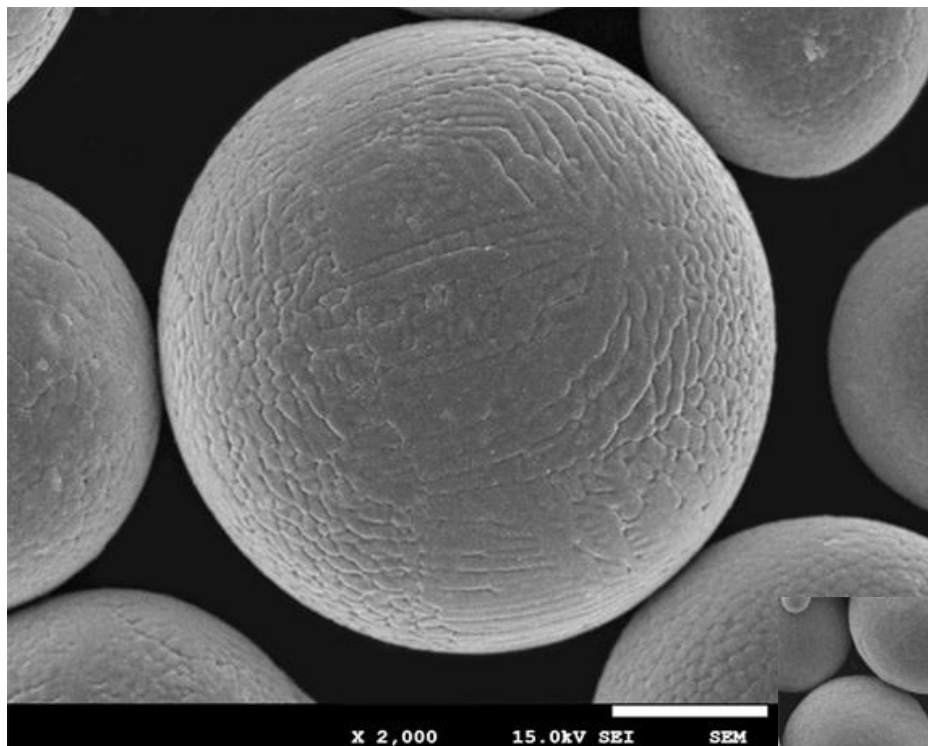
Isfahan University of Tech
AISI2300C SEI WD = 20.6 20.00 kV X 1.0K 50um

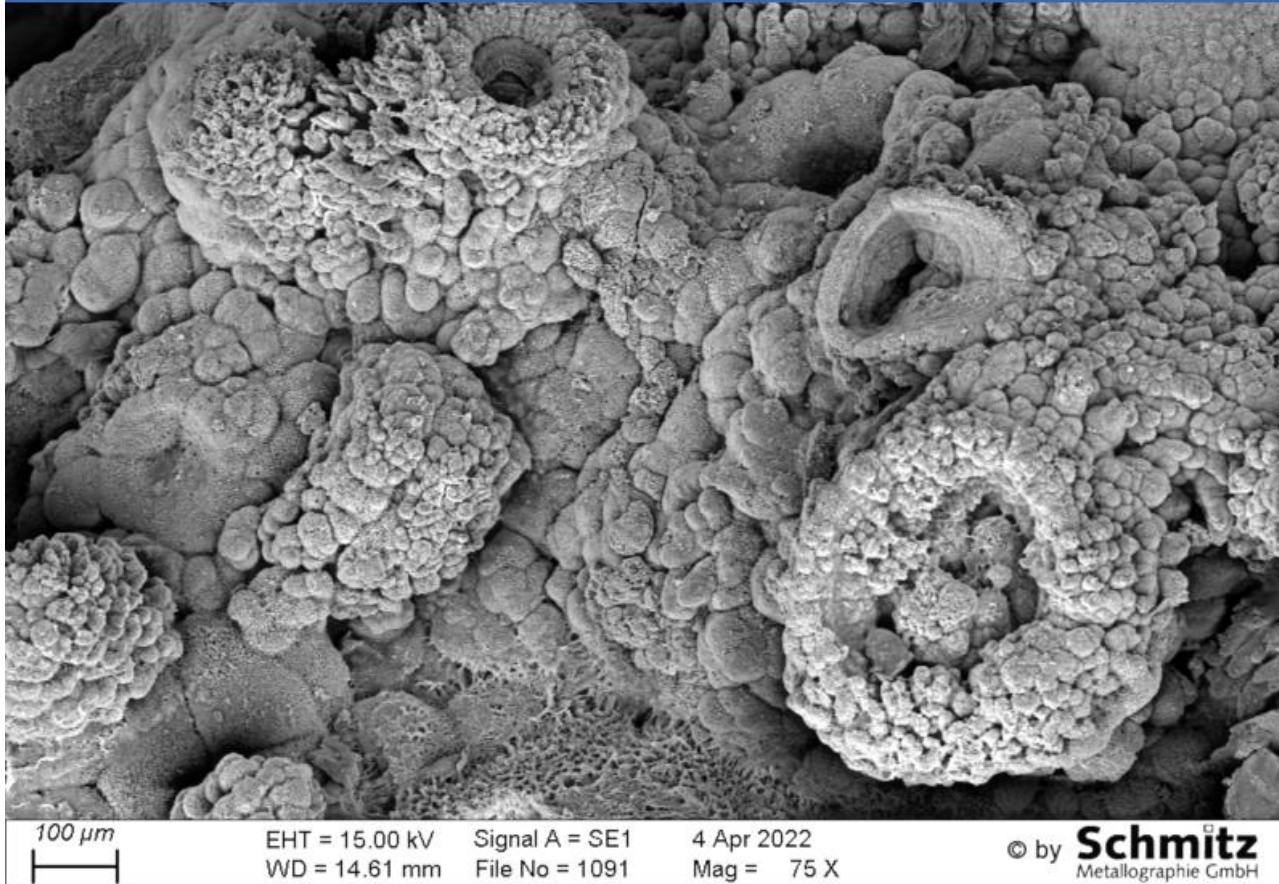


Isfahan University of Tech
AISI2300C SEI WD = 20.6 20.00 kV X 1.0K 50um

*çift fazlı AISI 5115 çeliğinin SEM
mikrografları*





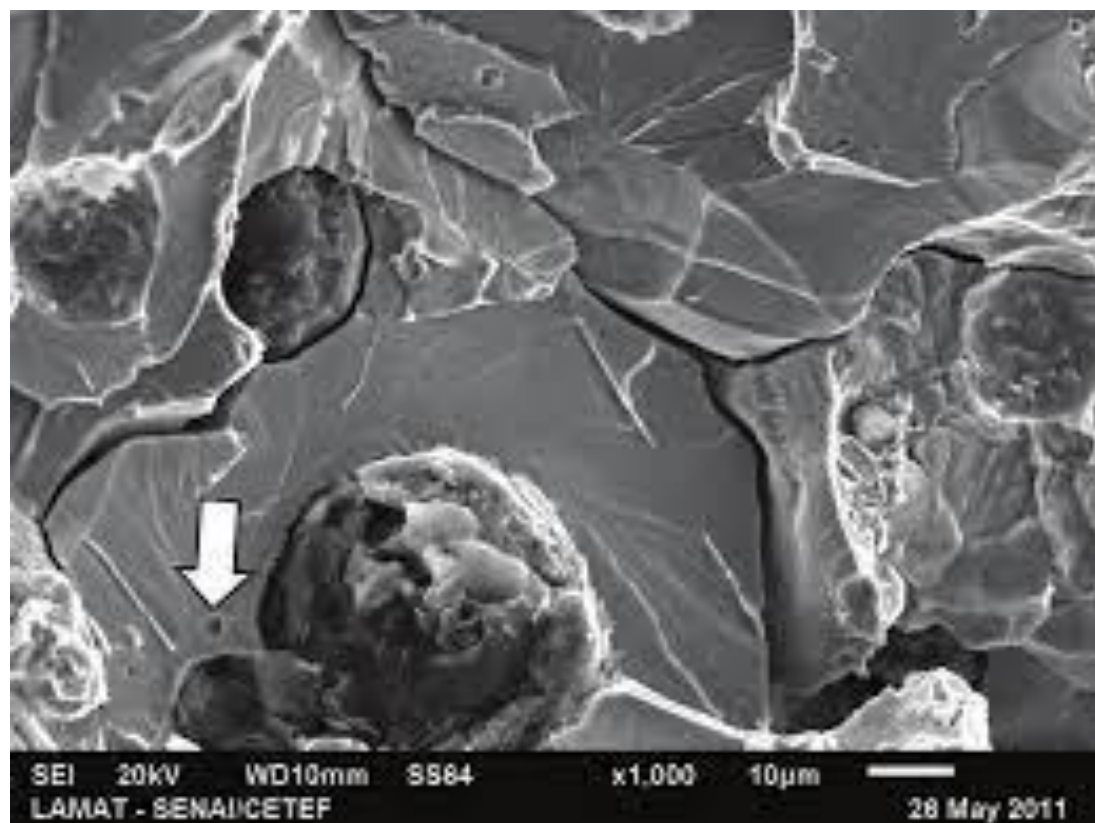


Cu su hattı borularında korozyon ürünleri

Schwingbruch in Draht aus 2.4605

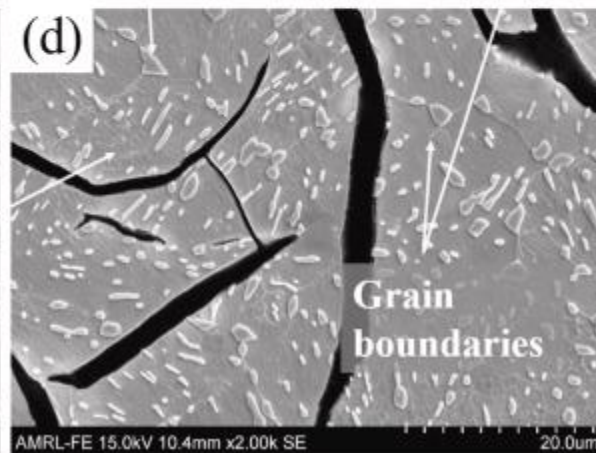
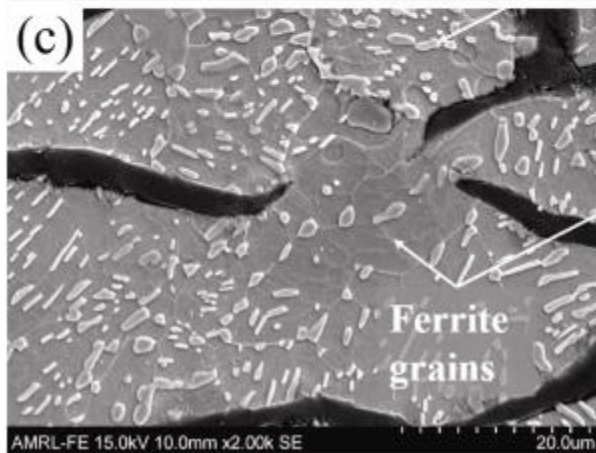
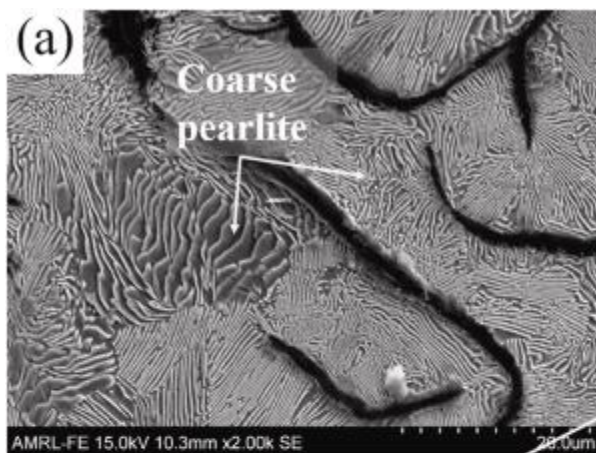


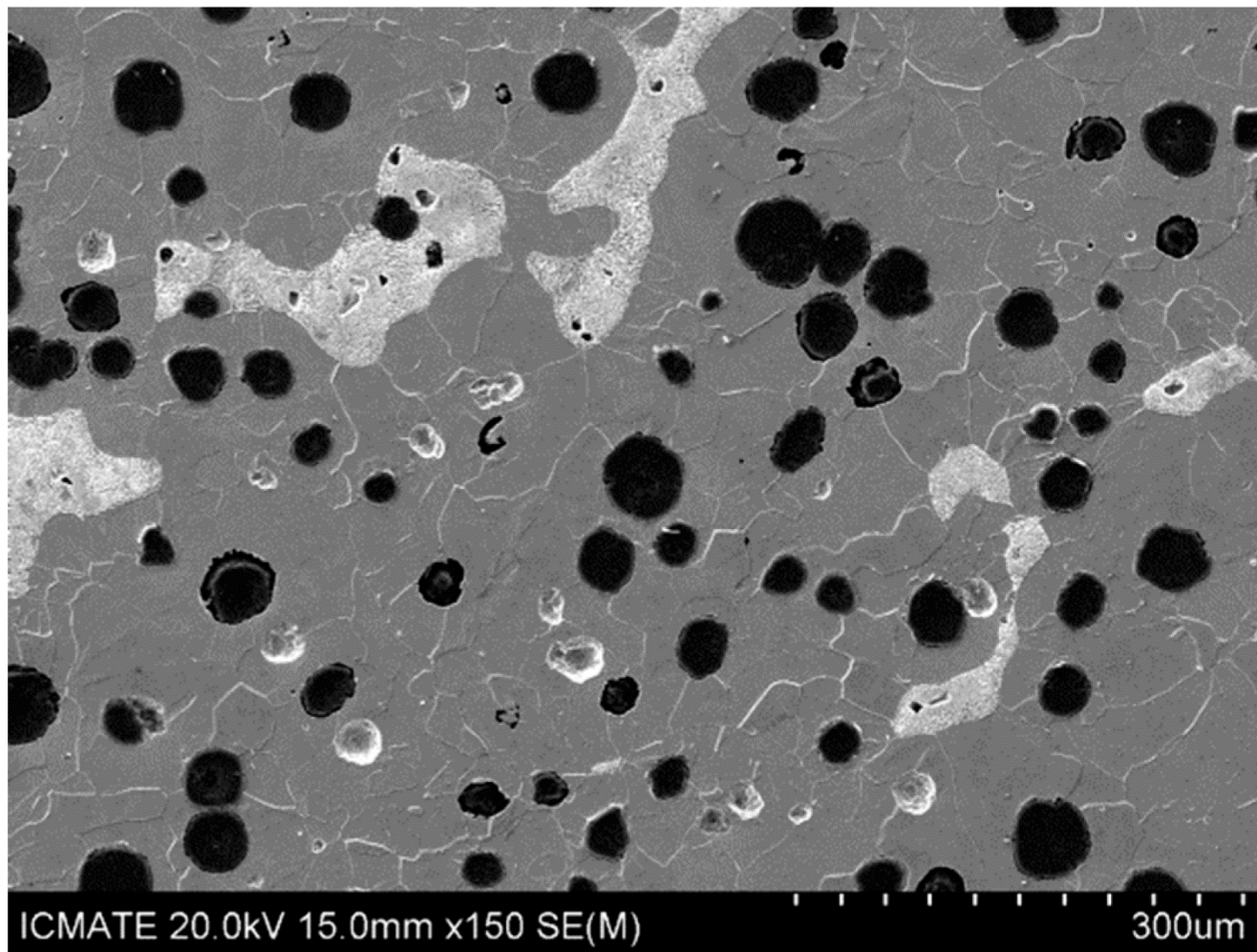
Bir telin aşırı yük kırılmasına karşı yorulma kırılması

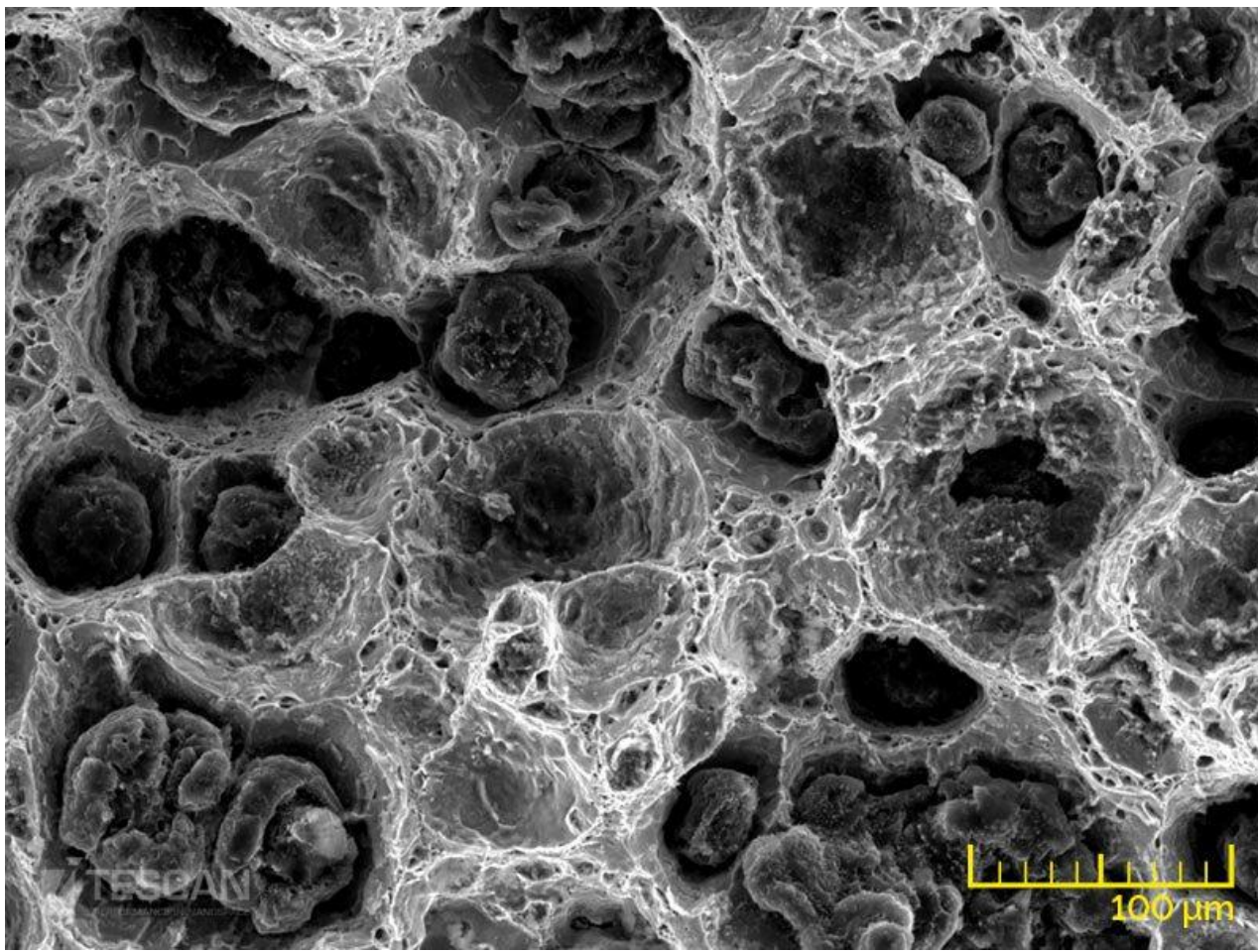




A scanning electronic microscope (SEM) image of a deeply etched rosette of flake graphite, expanding to form a cell (courtesy of Fras et al. [40,41]).







Östemperlenmiş sünek demir – kırılma yüzeyi

