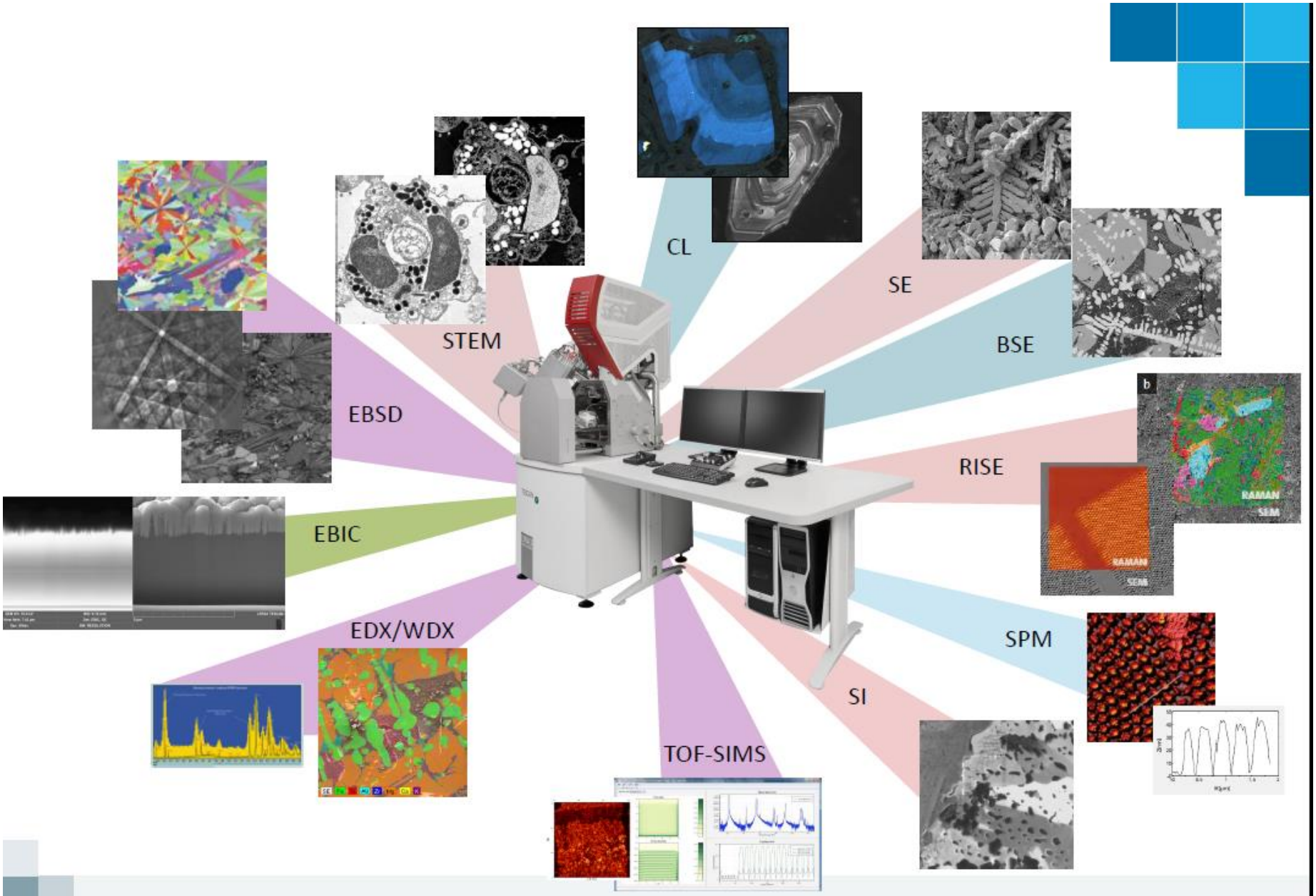
# Malzeme Karakterizasyonu I

# Elektron Mikroskobu (EM)

# Taramalı Elektron Mikroskobu



# Elektron Mikroskobu

In light microscopy the light falling on an object is reflected, transmitted, scattered, absorbed, or re-emitted at another wavelength. The main modes of light microscopy (reflected, transmitted bright-field and dark-field, fluorescence) result from these effects.

In electron microscopy the possibilities are much wider, because the greater amount of energy carried by the illumination can cause a number of different effects to occur in the specimen. A range of microscopical and analytical modes is possible, which makes the electron microscope the basis of a very powerful analytical system.

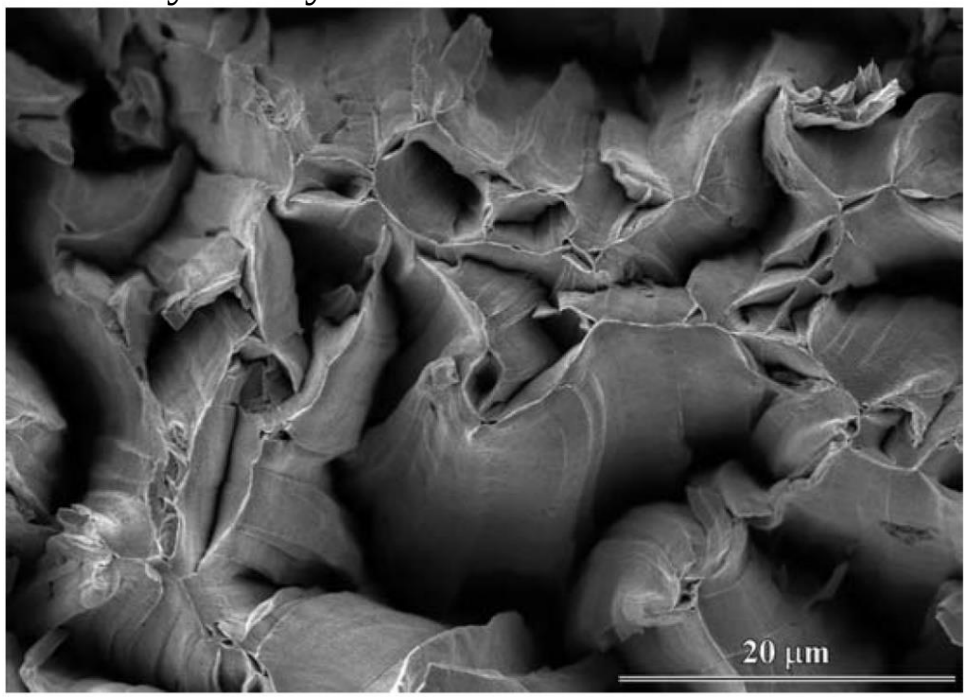



***Figure 5.1*** *A secondary electron scanning electron micrograph of a ductile fracture surface in molybdenum.*

# Elektron-Numune Etkileşimi

Elektron mikroskobunda yüksek enerjili elektronlar numune geldiğinde bir yol izlemektedir. 2 tür numune kalınlığı göz önüne alındığında TEM için ince numuneler, SEM için kitlesel numuneler bulunmaktadır.

Elektron numune atomları ile çarpıştığında yollarından sapmaktadır. Enerji değişimi olmadan elastik, etkileşim sonucu elektron salınımı ve/veya elektromanyetik radyasyon radyasyon salınımıyla inelastik olarak yolundan sapmaktadır.

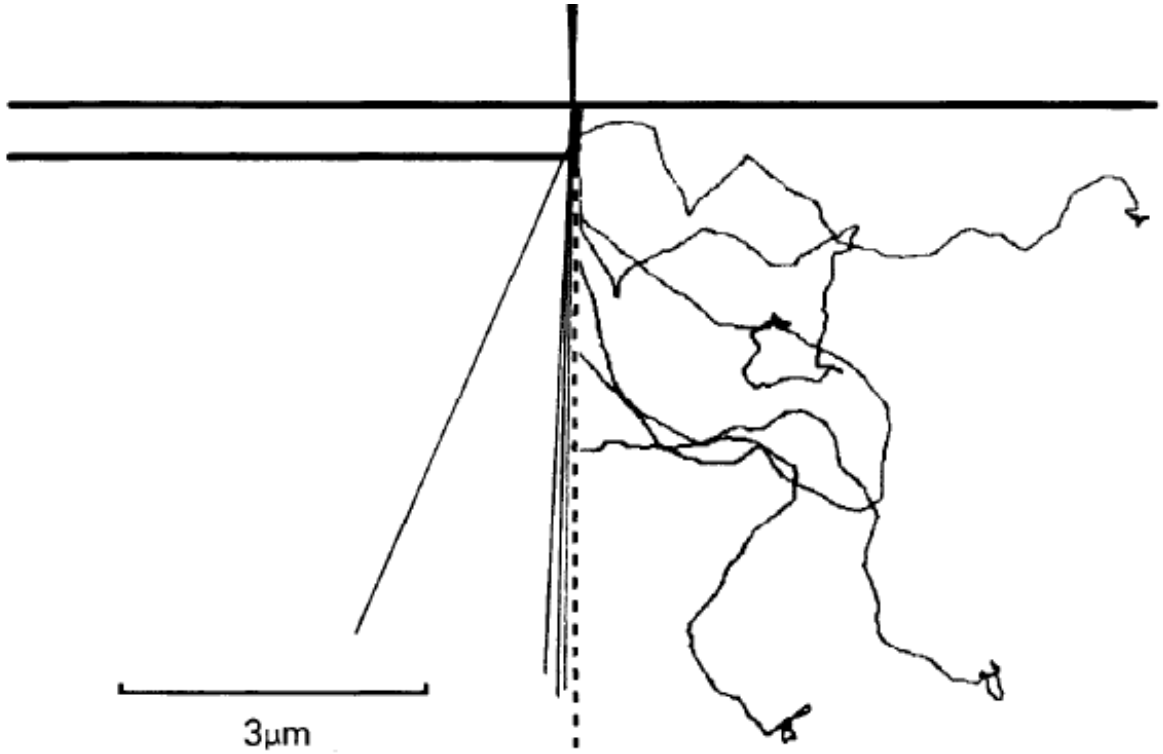



Figure 2.1. Electron–specimen encounters (schematic) for thin and bulk specimens.

# Elektron-Numune Etkileşimi

The number of electrons in each shell is limited to a maximum of In2. The innermost, least energetic, electron shells are filled before those with higher energy. To give a few examples; helium (Z=2) has both of its electrons in the K shell. Aluminium (Z= 13) will have two K electrons, 8 L electrons and 3 M electrons. Gold (Z=79) has two K electrons, 8 L electrons, 18 M electrons, 32 N electrons and 18 O and 1 P electron. Any of these electrons can, on the addition of sufficient energy, be excited into orbits further out provided there is a vacancy. Electrons in the innermost shells, sometimes referred to as core electrons, are concerned with x-ray production (as will be described) and their behaviour is influenced most by the attraction of the nucleus, The outermost electrons are the ones involved with interactions with other atoms and with ionisation.

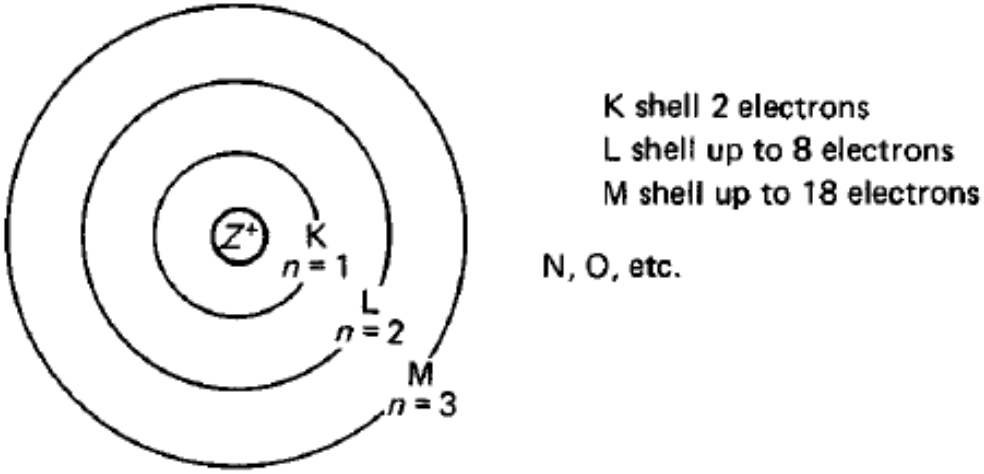



Figure 2.2. Simplified atomic model showing 'shells' of orbiting electrons surrounding the nucleus.

# Elektron Mikroskobu

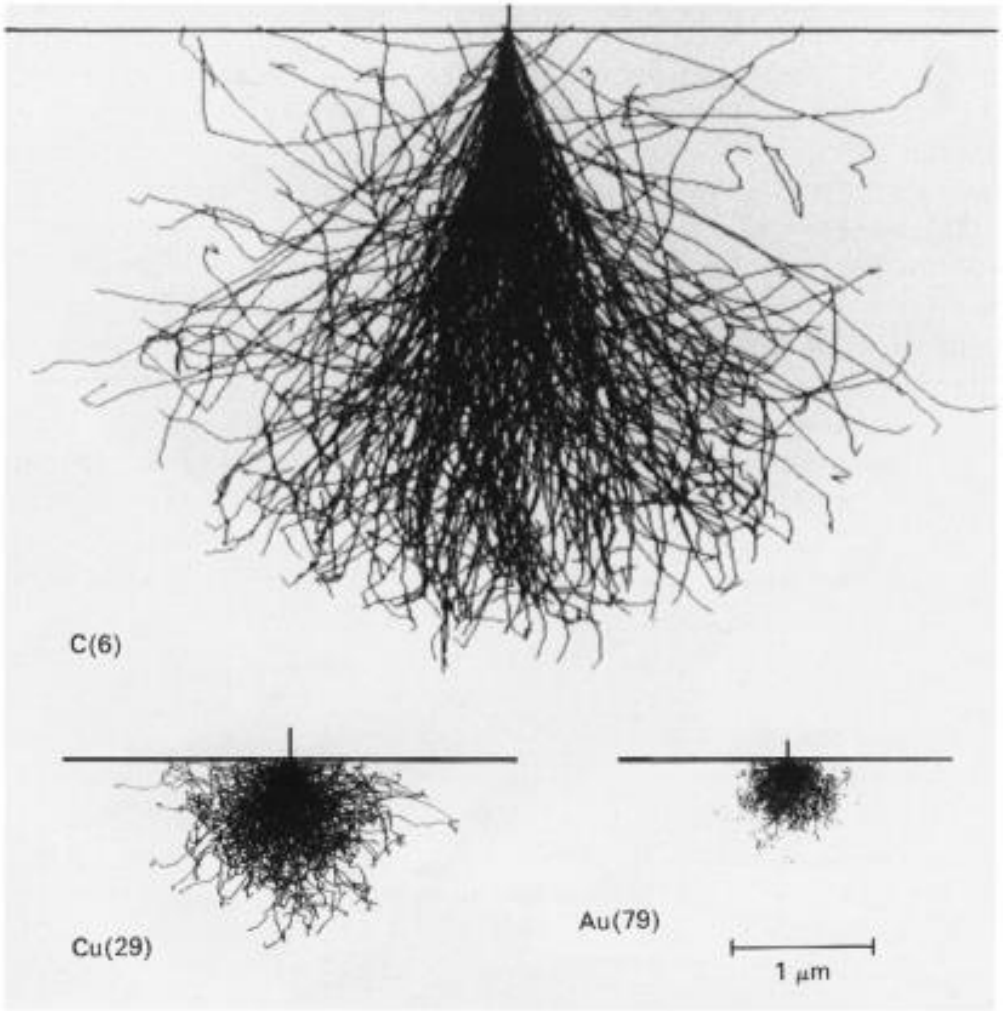



Figure 2.3. Monte Carlo simulations of trajectories of 20 keV electrons normally incident on bulk samples of low, medium and high atomic number. Elastic collisions only are considered by the programme, since inelastic collisions result in very slight, if any, change of direction of travel. Electrons are assumed to lose energy continuously at a uniform rate along their trajectories. (Programme by courtesy of D. C. Joy)

# Elektron Mikroskobu

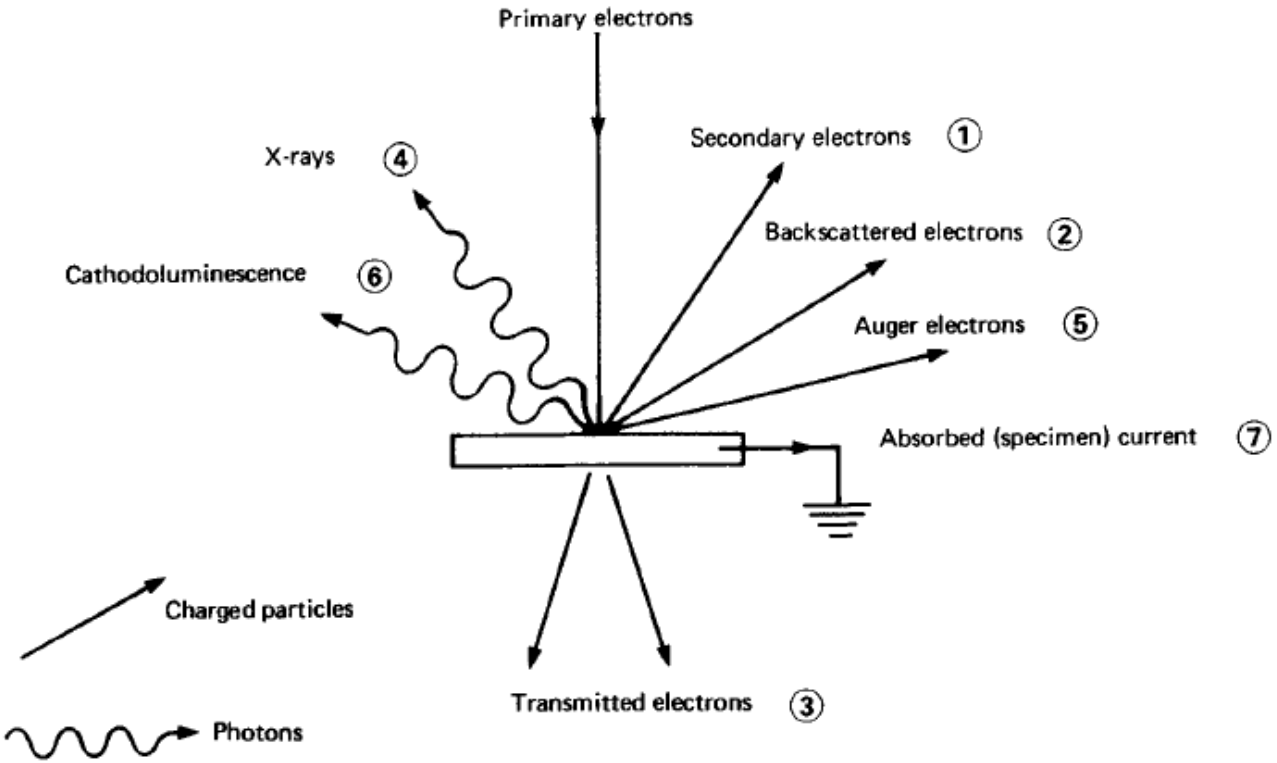



Figure 2.4. Photon and charged particle emissions from an electron-bombarded surface.

**(1) Secondary electrons**
**(2) Reflected or Backscattered electrons**
**(3) Transmitted electrons**
**(4) X-radiation**
**(5) Auger electrons**
**(6) Cathodoluminescence radiations**
**(7) Absorbed (specimen) current**

# Elektron Mikroskobu

## 1- İkincil Elektronlar

**İnelastik çarpışma dış kabuktaki elektronlar ile gerçekleşmekte ve arkalarında pozitif yüklü iyonize atom bırakmaktadır. Oluşturulan bu elektronlar 50 eV 'dan daha düşük kinetik enerjiye sahip olduğundan iyonize atomlar tarafından kolaylıkla yakalanmaktadırlar. Sadece R kaçış mesafesinden daha az yüzeye yakın olan elektronlar kaçabilmekte ve İkincil Elektronları (SE) oluşturmaktadır.**

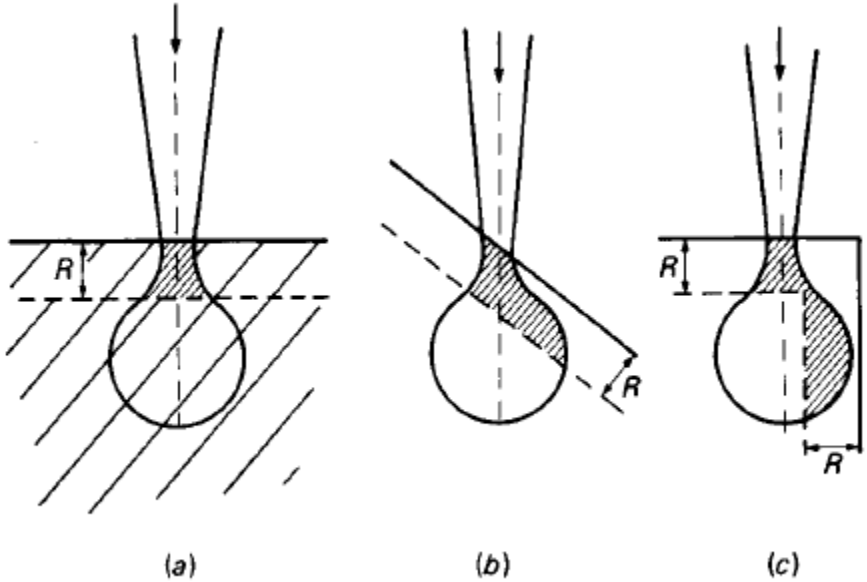



Figure 2.5. Secondary electron emission. (*a*) Only those created within distance *R* of surface can escape. (*b*),(*c*) Increase in emitted secondary electron signal from tilted surface and edges. (N.B. Diagrams not to scale; the proportions of the droplet will vary with the electron energy and the atomic number of the specimen.)

# Elektron Mikroskobu

## 1- İkincil Elektronlar

- ✓ Oluşan ikincil elektronların çok küçük bir kısmı toplama için uygun ve gelen demetin giriş noktasının çok dar bir bölgesindedir. Dolayısıyla yüksek çözünürlüklü yüzey görüntülemede kullanılmaktadır.
- ✓ Gelen demete göre numuneyi eğmek oluşan ikincil elektronlarınların yüzeyden çıkışını artırabilmektedir.
- ✓ SE salınımının şiddeti dolayısıyla yüzey eğimine ve topografisine bağlıdır.
- ✓ Yüksek miktarda SE salınımı ince köşelerde ve sivri yerlerden daha çok olacaktır.

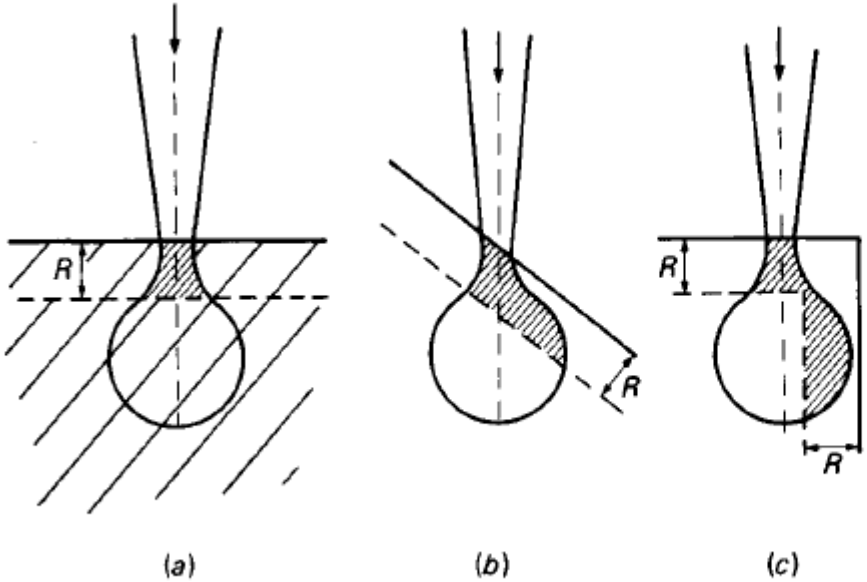



Figure 2.5. Secondary electron emission. (*a*) Only those created within distance *R* of surface can escape. (*b*),(*c*) Increase in emitted secondary electron signal from tilted surface and edges. (N.B. Diagrams not to scale; the proportions of the droplet will vary with the electron energy and the atomic number of the specimen.)

# Elektron Mikroskobu

## 2-Yansıyan ve Gerisaçılan Elektronlar (BSE)

- ✓ **Bu elektronlar, gelen birincil elektron demetindeki elektronların numune yüzeyinden geri gelmesi gibi düşünülebilir. Çarpışmaya bağlı olarak geri gelen elektronların enerjileri gelen elektronların enerjisine eşit veya ikincil elektronlar seviyesine kadar düşebilmektedir.**
- ✓ **BSE' ler toplanabilir ve taramalı mikroskopta görüntü oluşturmak için kullanılabilir.**

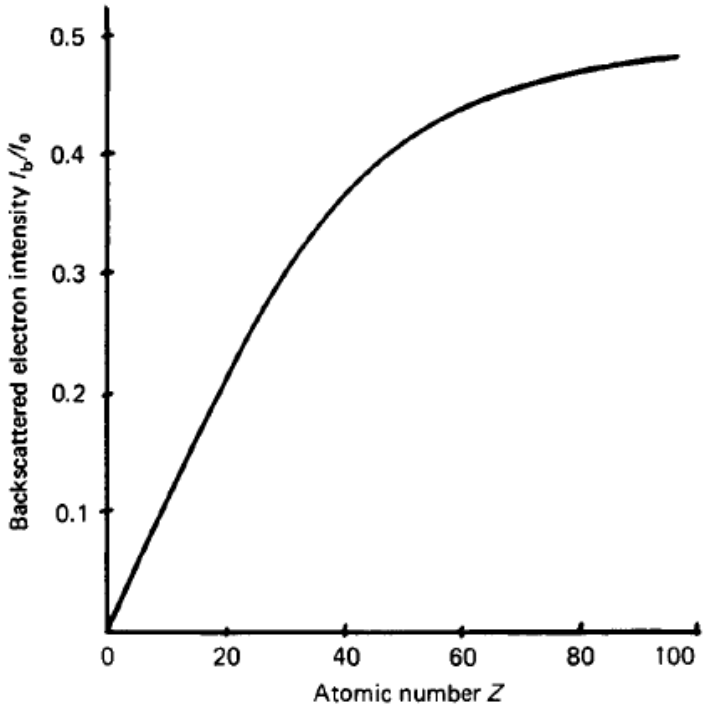



Figure 2.6. Dependence of backscatter coefficient on atomic number. (After Bishop, 1965.)

# Elektron Mikroskobu

## 2-Yansıyan ve Gerisaçılan Elektronlar (BSE)

- ✓ **BSE oranını numunenin atom numarası ile ilişkilidir.**
- ✓ **BSE nin belirlenmesi ile numunenin atom numarası öngörülebilir.**
- ✓ **BSE etkisi, atom numarasının (Z) artışı ile şiddetli bir şekilde artmaktadır.**
- ✓ **Numunedeki atom numarasında lokal değişimler, BSE deki emisyonun şiddeti ile belirlenebilir.**
- ✓ **Atom numarasına şiddetli bağlı olduğundan, periyodik tablodaki birbirine yakın elementlerin bile belirlenmesine olanak sağlayabilir.**

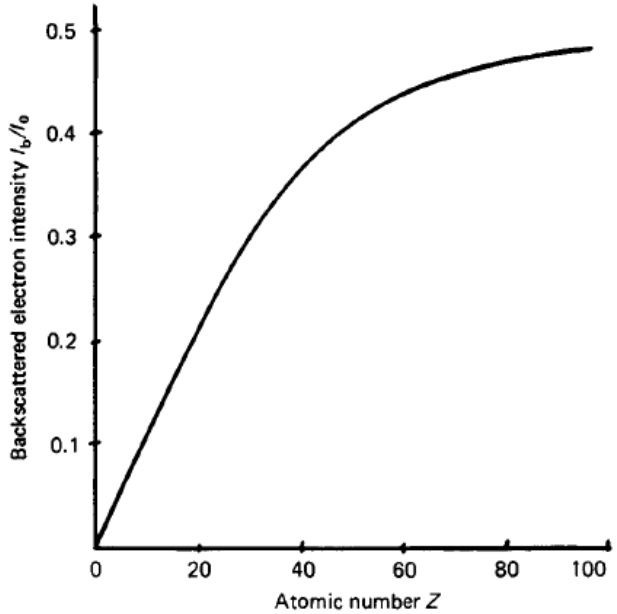



Figure 2.6. Dependence of backscatter coefficient on atomic number. (After Bishop, 1965.)

# Elektron Mikroskobu

## 2-Yansıyan ve Gerisaçılan Elektronlar (BSE)

- ✓ **1kev civarındaki çok düşük elektron demeti enerjilerinde, bu ilişki bozulabilmekte ve artırılmış gerisaçılma yüksek atom numaralı malzeme anlamına gelmemektedir.**
- ✓ **Numuneden gerisaçılan elektronlar, birincil elektron demetinden daha geniş olmaktadır.**
- ✓ **BSE'lar numune içerisinde SE'ların oluşumuna da neden olmaktadırlar. Yüzeyden Kaçış mesafesinde olan SE'lar emisyona neden olmaktadır. Ancak birincil elektron demetindeki topografi ilişkisi olmadığından, BSE ile oluşan SE'ler asıl SE salınımının çok az bir informatif bölümüdür.**

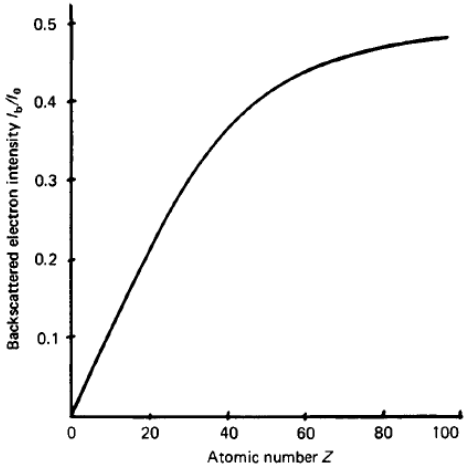



Figure 2.6. Dependence of backscatter coefficient on atomic number. (After Bishop, 1965.)

# Elektron Mikroskobu

**Elektron Verimi:**

**Toplam ikincil elektron verimi olarak adlandırılan, gelen birincil elektron başına yüzeyden yayınan elektronların verimidir. Bu değer hem BSE oluşumunu hem de SE oluşumunu ifade etmektedir.**

**Gelen elektron enerjisine göre çizilen toplam ikincil elektron veriminin maksimumu malzemeden malzemeye farklılık göstermektedir.**

**Saf malzemeler için 2 keV' nin altında iken , bazı bileşiklerde 10 keV kadar yüksek bir değerdir.**

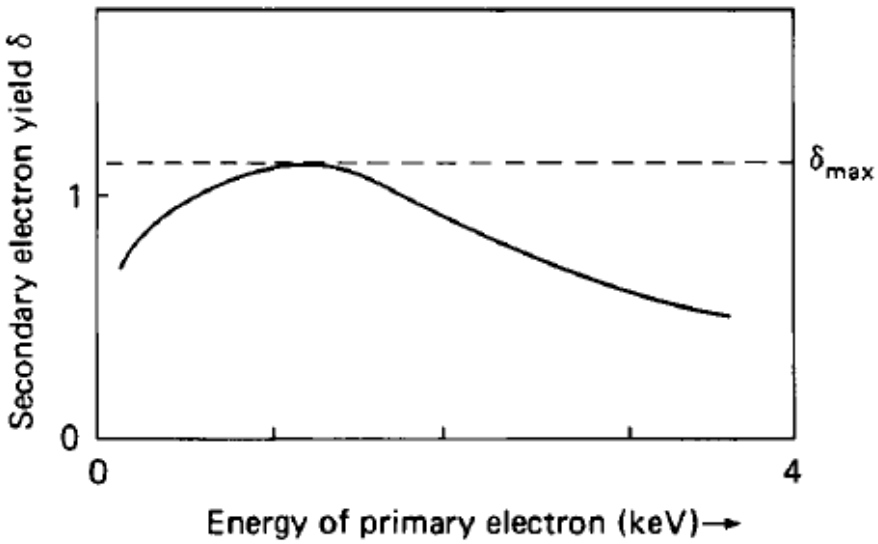



Figure 2.7. Schematic diagram of the variation of secondary electron yield $\delta$ with energy of incident (primary) electrons.

# Elektron Mikroskobu

## Elektron Verimi:

**Eğrinin şekli birbirine ters çalışan 2 etkinin sonucudur.**
**Gelen birincil elektron enerjisinin artışıyla oluşturulan SE veya iyonizasyonun artmasına karşı, numune içerisine penetrasyonu da artmaktadır.**
**$E_{mak}$ 'dan yüksek enerjilerde, yüzeyden kaçma mesafesininden uzak bölgede oluşturulan SE oranı artmakta ama verim düşmektedir.**
**Birkaç keV'luk voltaj değeri, pnetrasyon derinliğini azaltmasından ve yanal difüzyonu desteklemesinden dolayı yüksek SE verimi vermekte.**
**Ayrıca ,düşük voltaj değerli demet BSE kaynaklı ikincil elektronlar birincil demete daha yakın davranmaktadır.**

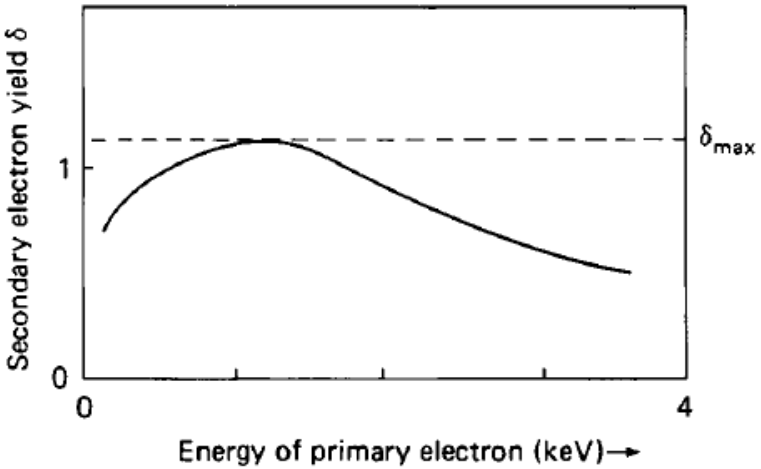



Figure 2.7. Schematic diagram of the variation of secondary electron yield $\delta$ with energy of incident (primary) electrons.

# Elektron Mikroskobu

## İkincil Elektronların Belirlenmesi:

**Elektronların yükü çok düşük olduğundan, bunlar kullanışlı sinyallere dönüştürülmek için güçlendirilmektedir.**

**SE'lar 50 eV ve altında enerji değerine sahiptirler. Bunun anlamı, çok yavaş hareket ettikleri ve detektöre kolayca yapışabilmeleri veya isteğe göre itilebilmeleridir.**

**Neredeyse tüm SEM'lerde kullanılan dedektör Everhart ve Thornley' in geliştiriğidir.**

**Yavaş hareket eden SE'lar birkaç yüz +V ile metal ızgaraya çekilmekte, daha sonra 12 kV ile PMT 'de ivmelendirilerek katot tüpe elektronların çarpması ile ışık üretilerek görüntü oluşturulmaktadır.**

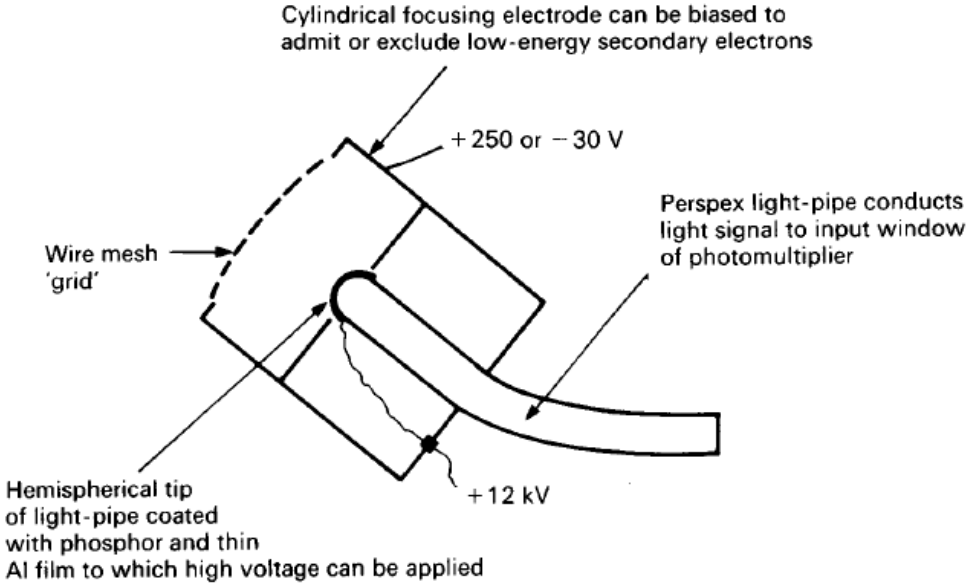



Figure 2.8. Schematic diagram of Everhart–Thornley secondary electron detector.

# Elektron Mikroskobu

## Gerisaçılan Elektronların Belirlenmesi:

**SE'ların elekten geçmesinin önlenmesi için 30 V'luk negatif voltaj uygulanmaktadır.**

**BSE'ların enerjileri yüksek olduğundan SE gibi detektöre çekilemez. Sadece dedektöre giriş yönünde numuneden yayılan BSE'lar içeri girebilir.**

**Everhart-Thornley dedektörü gibi küçük alanlı detektörlerdeki düşük verim ile BSE görüntüleme problemlidir.**

**BSE için özelleştirilmiş dedektörler kullanılması gerekir. İyi bir dedektör tasarımı, yüksek toplama açılı, numuneye yakın ve/veya geniş yüzey alanlı olmalıdır.**

**BSE görüntüleme, Çok düşük enerjili elektron demeti hariç temel alarak yüzey altıdır**

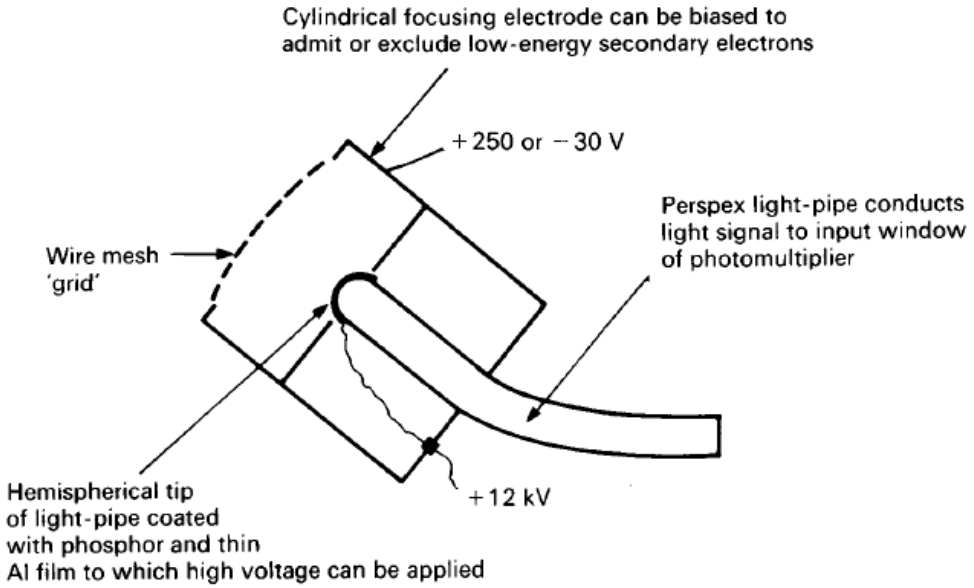



Figure 2.8. Schematic diagram of Everhart–Thornley secondary electron detector.

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

Elektron mikroskobunda numune elektron ile bombardıman edildiğinde X-radyasyonu fotonları açığa çıkmaktadır.
Açığa çıkan radyasyon spektrumu, Wavelength Dispersive veya Energy Dispersive x-ray spectroscopy (WDS or WDX and EDS or EDX) olarak bilinen X-ışını spektroskopisinde elamentel analiz için kullanılmaktadır.

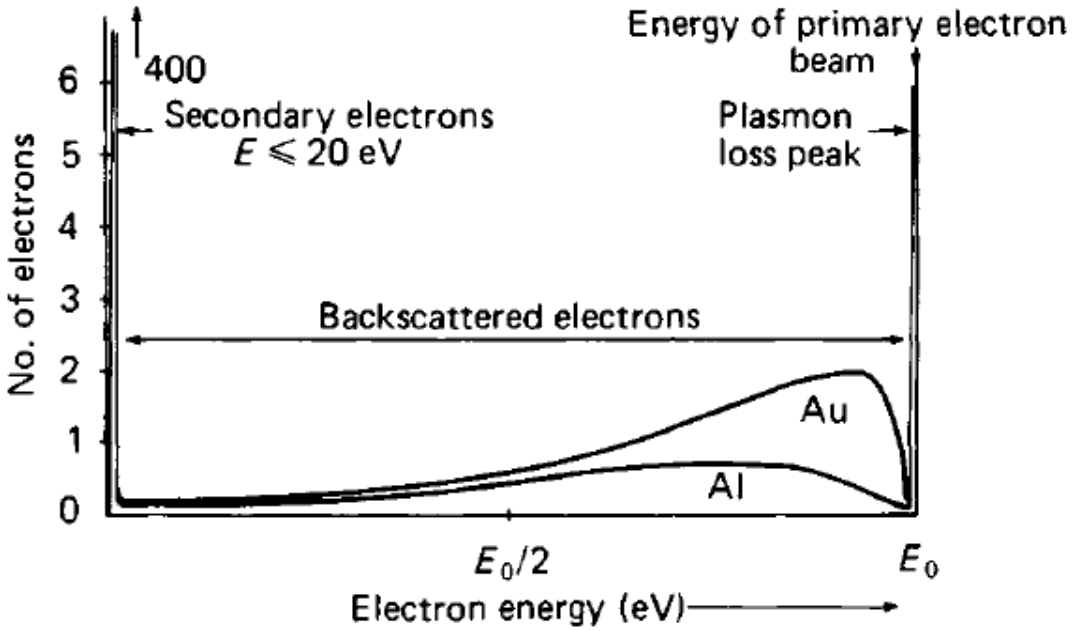



Figure 2.9. Probable energy distribution of electrons emitted from a surface under bombardment in the scanning microscope. Curves for high and low atomic number elements are given. (After Robinson, 1973.)

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

Elektron, α-parçacıkları veya γ ışınları ile bombardıman edilmesiyle numuneden açığa çıkan elektromanyetik dalgaların boyları görünür ışıktan çok daha kısadır.

Bir fotonun enerjisi (Planck formülü):

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

E: enerji
c: ışık hızı
h: Planck sabiti (6,6 x $10^{-34}$ js)
λ: Dalga Boyu

Pratik olarak ; E (keV) = 1.24 / λ (nm)

# Elektron Mikroskobu

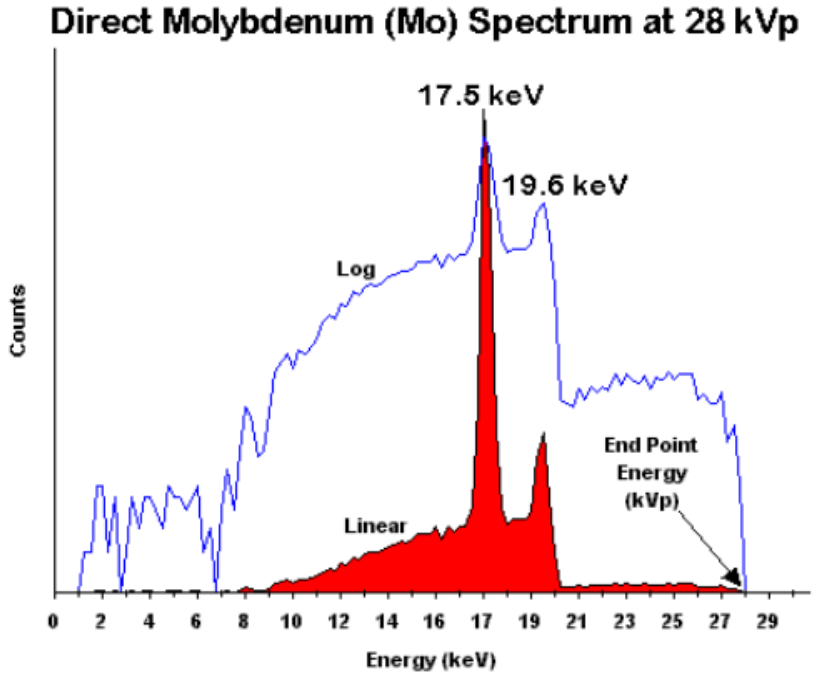
**3- X-Işını Fotonları**

Numune elektronlar ile bombardıman edildiğinde 2 tip radyasyon açığa çıkmaktadır:

**1-** Beyaz radyasyon veya Bremsstrahlung olarak adlandırılan sürekli spketrum

**2-** Karakteristik salınımlardan oluşan belirli dalgaboylarında ışınlar

Molibden 25 keV luk elektronlar ile bombardıman edildiğinde, sürekli spektrum 25 keV ($\lambda$ =0.050 nm) enerjiden aşağıya doğru güçlü karakteristik çizgisel salınımlar ile devam etmektedir. 19.6 keV (0.063 nm), 17.4 keV (0.071 nm), 2.4 keV (0.52 nm) ve 2.3 keV (0.54 nm).




**Neden böyle olmaktadır?**

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

K kabuğundaki elektron ile birincil gelen elektron arasındaki çarpışma ile atomdan 1 elektron koparılmaktadır. K kabuğundaki elektron boşluğu daha yüksek enerjili L, M ve/veya daha yüksek enerjili kabuklardan gelen elektron ile doldurulmaktadır. Bu 2 kabuk arasında gerçekleşen geçişten kaynaklanan enerji farkı X-ışını olarak yayılmaktadır.

Eğer elektron geçişi K-L arasında ise yayılan ışın Kα olarak, eğer geçiş K-M arasında ise yayılan ışın Kβ olarak adlandırılmaktadır.

Benzer şekilde L-M geçişi ile ise Lα, L-N geçişi ile ise Lβ olarak adlandırılmaktadır.

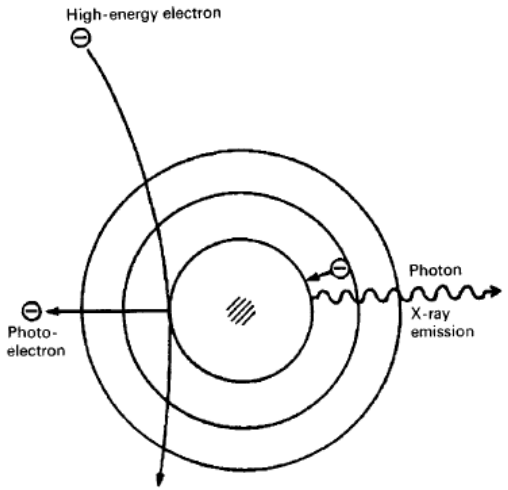
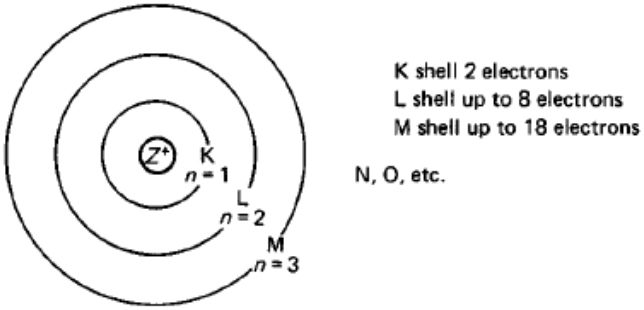



Figure 2.10. Schematic diagram of the processes leading to the emission of characteristic x-radiation under electron bombardment.



# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

### Elementlerin atom numarasına göre K ve L absorpsiyon enerjilerinin grafiği

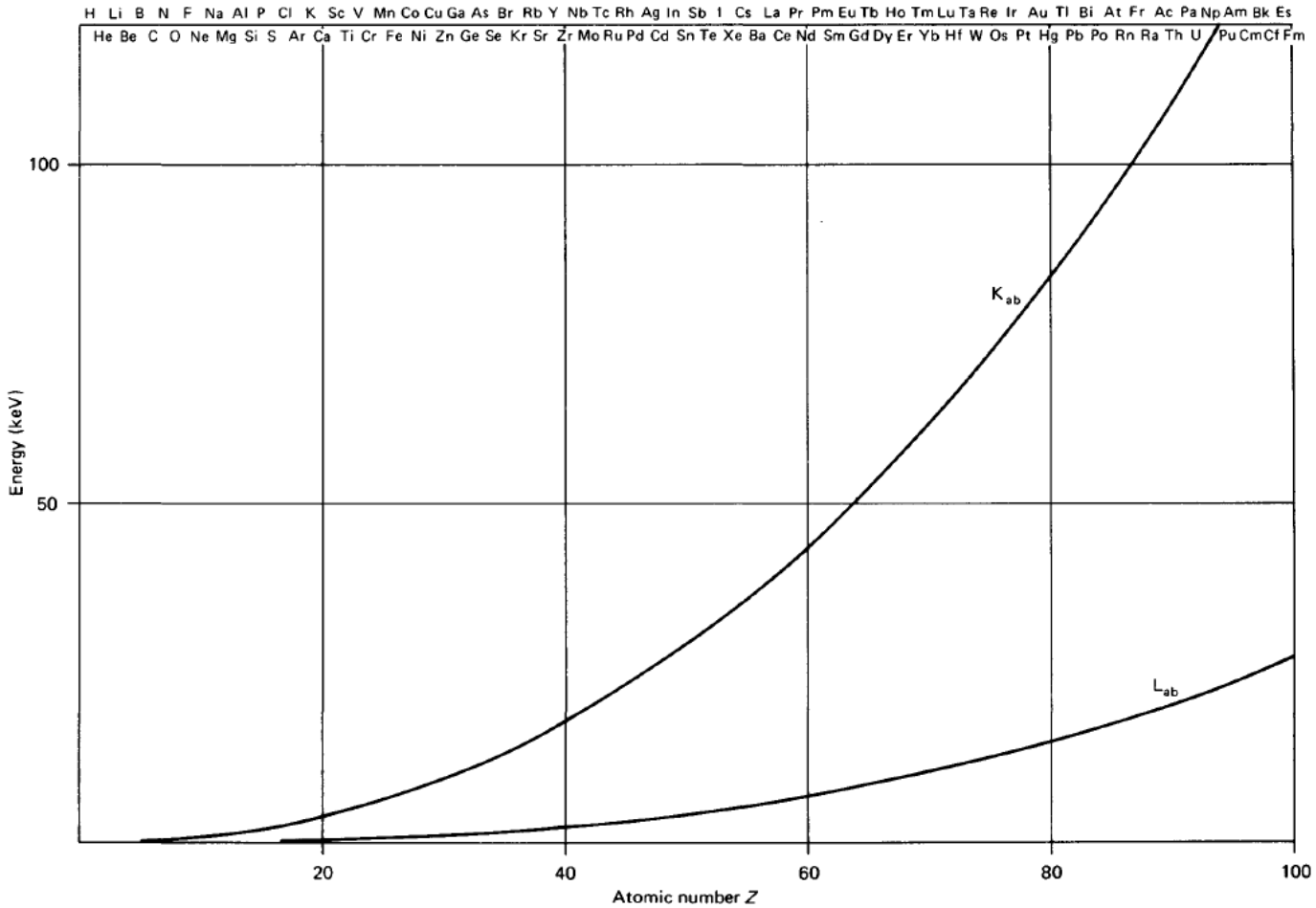



Figure 2.11. The energies of K and L absorption edges of all elements vary smoothly and progressively with the atomic number of the element, an effect first noted by Moseley.

# Elektron Mikroskobu

**3- X-Işını Fotonları**

K, L, M…olarak verilen kabuk isimleri basitleştirilmiş halidir, her kabuk küçük enerji farklı birçok enerji seviyesi içermektedir. Bunların arasında birçok geçiş mümkündür. Mümkün geçişler aşağıdaki şemada verilmektedir.

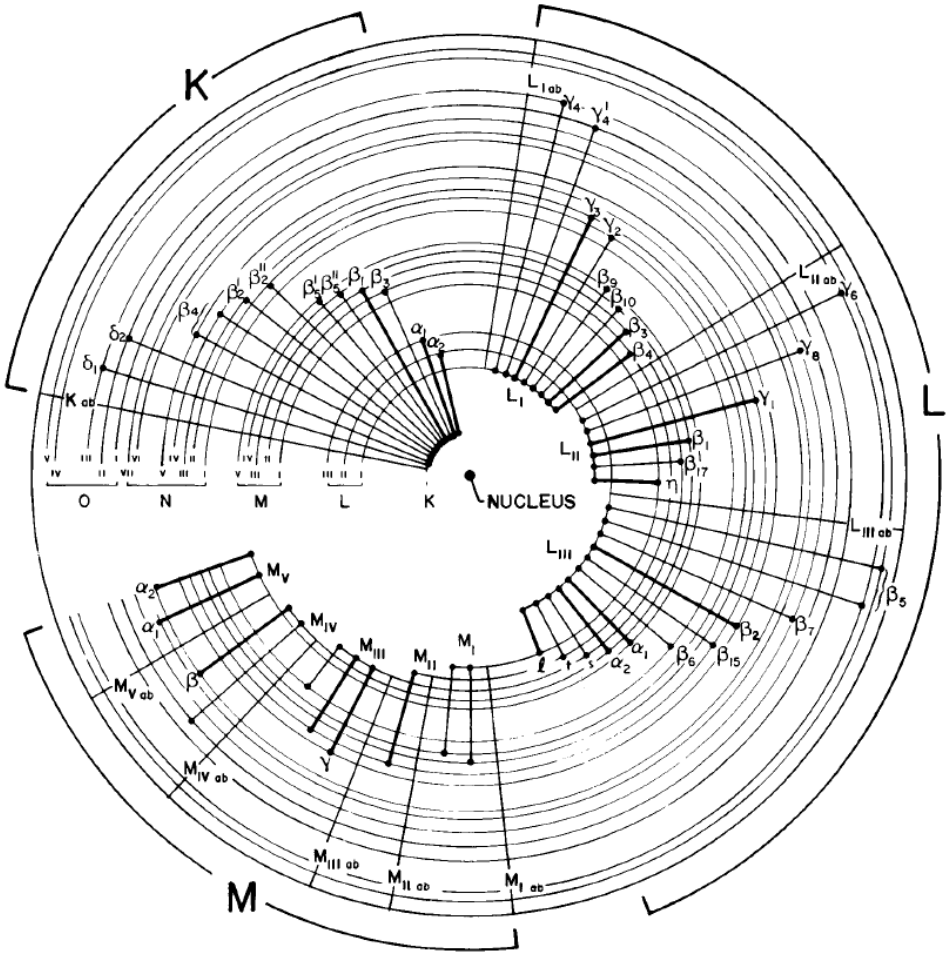



Figure 2.12. Origin of fine structure in characteristic x-ray spectra. (By courtesy of Kevex Corporation.)

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

- ✓ Analitik inceleme yapmak için elektron tabancasının potansiyeli önemlidir. Gümüş'ün K çizgileri için elektron demeti 25.5 kV'dan büyük olmalı, kurşun'un L çizgileri için en az 16 kV, seryum'un L çizgileri için en az 40.5 kV potansiyel gerekir.
- ✓ Verimli bir X-ışını oluşumu için uygulanan potansiyel istenen karakteristik ışının enerjisinin 3-4 katı olmalı.Çoğu elektron mikroskop 20 keV altında enerji kullanır.
- ✓ Sadece TEM'de veya ağır elementlerin K çizgileri için 100 kV voltaj kullanılır.

Table 2.1. *Characteristic x-ray emission spectrum for silver, Ag, Z=47*

| K series | $E_{ab}$ | $\beta_4$ | $\beta_2$ | $\beta_5$ | $\beta_1$ | $\beta_3$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $E$, keV | 25.517 | 25.507 | 25.452 | 25.141 | 24.938 | 24.907 | 22.159 | 21.987 |
| $\lambda$, nm | 0.0486 | 0.0486 | 0.0487 | 0.0493 | 0.0497 | 0.0498 | 0.0559 | 0.0564 |
| Rel. intensity | | 0.01 | 5 | 0.1 | 18 | 8 | 100 | 50 |
| $L_I$ series | $E_{ab}$ | $\gamma_3$ | $\gamma_2$ | $\beta_9$ | $\beta_{10}$ | $\beta_3$ | $\beta_4$ | |
| $E$, keV | 3.810 | 3.749 | 3.743 | 3.439 | 3.432 | 3.324 | 3.203 | |
| $\lambda$, nm | 0.3255 | 0.3306 | 0.3312 | 0.3605 | 0.3612 | 0.3833 | 0.3870 | |
| Rel. intensity | | 2 | 3 | 0.01 | 0.01 | 11 | 5 | |
| $L_{II}$ series | $E_{ab}$ | $\gamma_1$ | $\beta_1$ | $\eta$ | $\gamma_8$ | $\gamma_6$ | | |
| $E$, keV | 3.528 | 3.519 | 3.150 | 2.806 | | | | |
| $\lambda$, nm | 0.3515 | 0.3523 | 0.3935 | 0.4418 | | | | |
| Rel. intensity | | 10 | 42 | 1 | | | | |
| $L_{III}$ series | $E_{ab}$ | $\beta_2$ | $\beta_6$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\ell$ | | |
| $E$, keV | 3.352 | 3.347 | 3.255 | 2.984 | 2.978 | 2.633 | | |
| $\lambda$, nm | 0.3699 | 0.3703 | 0.3808 | 0.4154 | 0.4163 | 0.4708 | | |
| Rel. intensity | | 25 | 1 | 100 | 10 | 2 | | |
| M series | | $\gamma$ | | | | | | |
| $E$, keV | | 0.568 | | | | | | |
| $\lambda$, nm | | 2.182 | | | | | | |
| Rel. intensity | | 100 | | | | | | |

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

- ✓ Karakteristik çizgilerin sürekli arkaplan çizgileri ile üst üste binmesi kullanılan enerjinin maksimumu ile belirlenir, atomun kendi özelliği ile değil.
- ✓ Atomun karakteri ise, sürekli çizgilerin şiddeti atom numarasına bağlı olduğu için, belirleyicidir.
- ✓ Sürekli çizgilere, hareket halindeki elektronların yollarındaki ani sapmalardan kaynaklanmaktadır.
- ✓ Atomik çekirdek tarafından sapmaya uğrayan hızlanan elektron, x-ışını yaymaktadır.
- ✓ Yayınan ışının maksimumu veya Bremsstrahlung'un üst sınırı tabancanın potansiyeli ile elektronun yükünün çarpımı ile belirlenir.

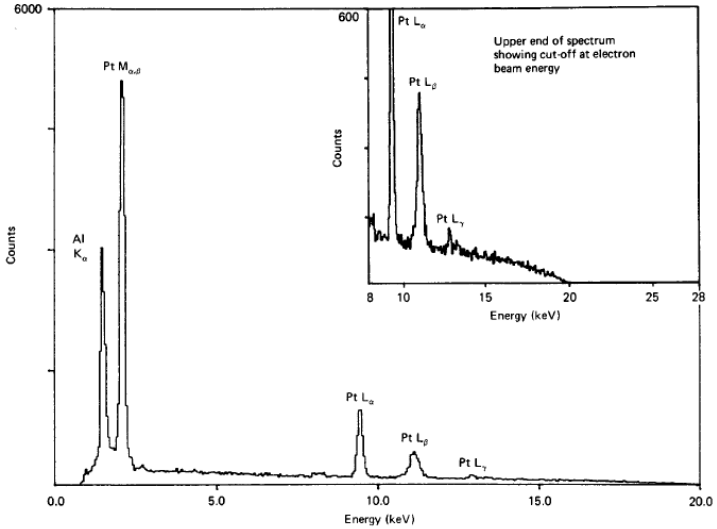



Figure 2.13. Characteristic x-ray spectrum from platinum on alumina, bombarded by 20 keV electrons. The platinum L lines are excited only weakly since the electron energy (20 keV) is only slightly in excess of the L absorption energy (13.9 keV). The platinum M and aluminium K radiations are strongly excited because of the higher 'overvoltage'.

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

- ✓ Aşağıda 20 keV ile bombardıman edilen platin numunenin EDX spektrumu görülmektedir.
- ✓ Aşağıda görüldüğü gibi, sürekli spektrum 1keV dan başlayıp gelen elektron enerjisi olan 20 keV'a kadar devam etmektedir.
- ✓ Uygulanan enerjinin üst sınıra ulaştıkça, toplam üretimin verimi ve algılanan radyasyon azalmaktadır.
- ✓ L piklerinin şiddeti azalmakta ve genişlemektedir çünkü uygulanan elektron enerjisi platinin L çizgilerinin çok az uyarmaktadır.
- ✓ K ve L çizgileri ise uygulanan voltaj ile güçlü olarak uyarılabilmektedir.

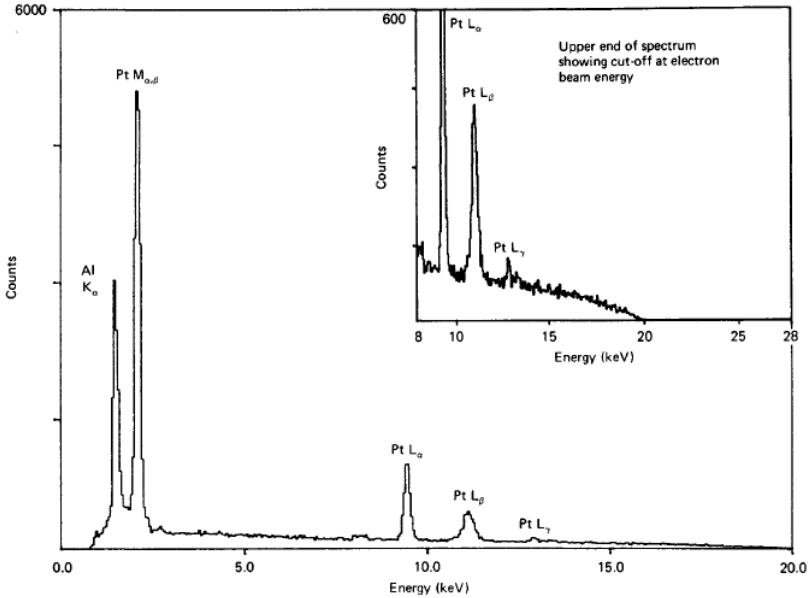



Figure 2.13. Characteristic x-ray spectrum from platinum on alumina, bombarded by 20 keV electrons. The platinum L lines are excited only weakly since the electron energy (20 keV) is only slightly in excess of the L absorption energy (13.9 keV). The platinum M and aluminium K radiations are strongly excited because of the higher 'overvoltage'.

# Elektron Mikroskobu

## 3- X-Işını Fotonları

## X-Işını Floresan

- ✓ Başka bir atomdan gelen radyasyonun absorbe edilmesiyle atom iyonize olabilmektedir.
- ✓ Absorbe edilen X-radyasyonu bir elektronu koparmakta ve floresan x-radyasyonu yayılmaktadır.
- ✓ Karaktersitik x-ışının absorplanması daha düşük enerjili karakteristik radyasyonun yayılması ile sonuçlanmaktadır.
- ✓ Yayılan radyasyonun absorplanması ve floresan oluşumu, numuneden yayılan x-ışının sinyallerinin sönümlenmesine neden olmaktadır.
- ✓ Floresan x-radyasyonu, Bremsstrahlung sürekliliği ile beraber bulunmak yerine elektron ile uyarılmış x-radyosyonları ile bulunmaktadır. Bu gerçeklik de bazı şartlarda analizin hassasiyetinenin artırılmasında kullanılabilir.

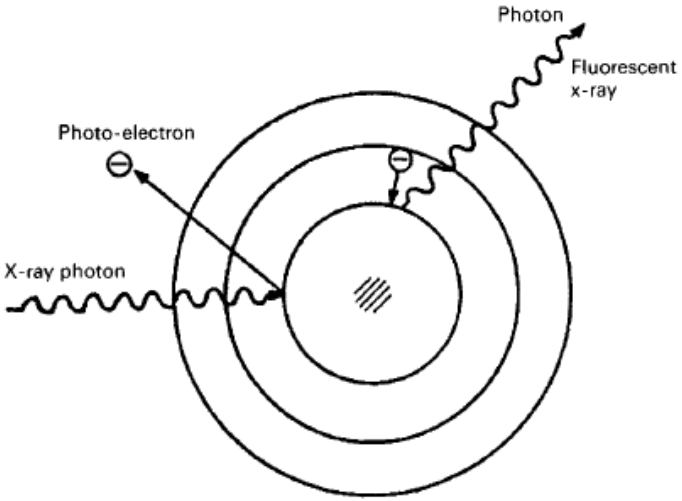



Figure 2.14. Schematic diagram of the emission of fluorescent x-radiation.

# Elektron Mikroskobu

## 4- Auger Elektronları

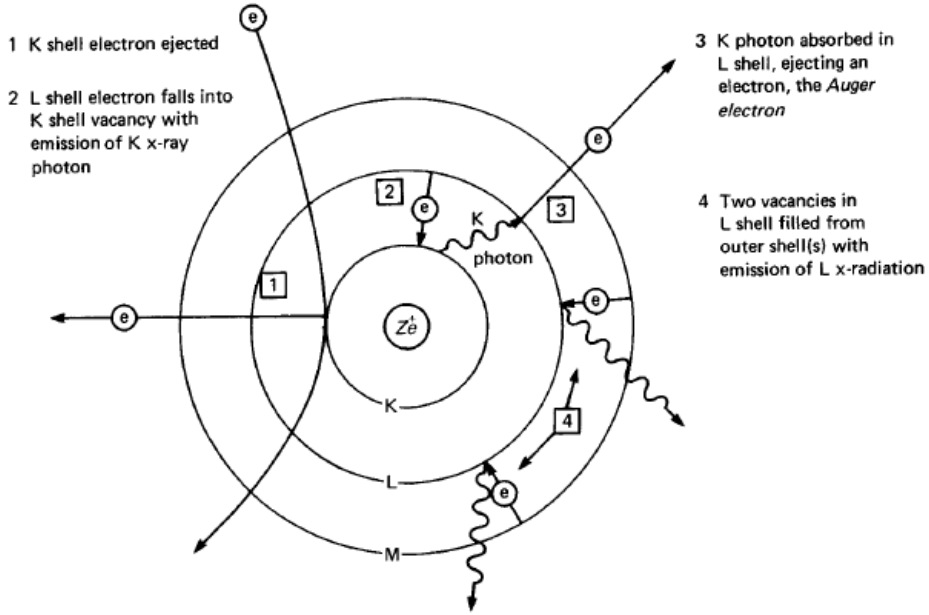



Figure 2.15. Schematic diagram illustrating the sequence of processes involved in the emission of Auger electrons. The transition illustrated would be identified as KLL, these being the shells involved in steps 1, 2 and 3 of the process. Other transitions are possible, and the peaks in an AES spectrum can be assigned to particular transitions.

- ✓ Birincil elektron ile iç kabuktaki elektronların etkileşimi ile elektronla beraber x-ışınları yayılmaktadır.
- ✓ Auger elektronlarının enerjisi 1-2 keV civarındadır.
- ✓ Auger elektronlarının enerjileri gelen atoma göre karakteristiktir.
- ✓ Numunenin yüzeyinden gelen elektronlardır, dolayısayla yüzey hassas elemental analizdir.
- ✓ Z=2 ‘ye kadar elemental analize uygundur.
- ✓ Auger electron spectroscopy (AES) , yüzeyden birkaç nm lik kısmın analizini yapar.
- ✓ Analiz ultra-yüksek vakumda yapılmalıdır çünkü birkaç nm lik en dış yüzey numuneye adsorplanmış gazların katmanı olacaktır.

# Elektron Mikroskobu

## 5- Katodoluminesans (CL)

- ✓ Birçok numune elektron bombardımanı altında görünür ve invisible ışık yaymaktadır. Buna katodoluminesans denmektedir.
- ✓ Bu özellik malzemenin iç enerji yapısının çalışılmasını sağlamaktadır. Var olan enerji band aralıkları renk olarak açığa çıkacaktır.
- ✓ Uygun dedektörler ile luminesans bölgelerin renk dağılımı görüntülenebilecektir.
- ✓ Eğer bu olgu olmasaydı, ne elektron mikroskobunda ne tv'lerde ne de bilgisayarlarda görüntü olabilirdi.

**Katodoluminesans (CL) sinyallerin belirlenmesi**

- ✓ Numuneden gelen sinyallerin verimini artırmak için, numune üzerine yerleştirilen eğrisel bir ayna ile CL sinyalleri toplanarak detektöre yönlendirilir.
- ✓ Eğer CL sinyallerinin enerji seviyelerinin bilgileri isteniyorsa, spektrofotometre veya luminesansın kırmızı, yeşil,mavi bileşenlerini ölçmek için ayrı bir dedektörle beraber çalışmalıdır.

# Elektron Mikroskobu

## 6- Absorplanmış (numune) akım

- ✓ Elektron yayınımı veya geçiriminden sonra numunede net elektron akımı kalabilmekte. Absorplanan veya numune akımı yayınma modları (BSE,SE) ile ilişkilidir.

- ✓ Numune yarıiletken olduğunda, absorplanan elektronların neden olduğu akım yarıiletkenin iç yapısı ile ilgili bilgi vermektedir. Bu yöntem Electron Beam Induced Current (EBIC) olarak adlandırılır.

- ✓ Eğer numune topraklanmamış veya yalıtkansa, gelen birincil elektronlar numuneyi negatif olarak yükleyecek ve böylece elektron demetinin numuneye gelmesini baskılayacaktır. Dolayısıyla, analiz yapma imkanı ortadan kalkacaktır.

- ✓ Eğer numune iletkenliği yeterli değilse, elektron mikroskobu analizi için numune yüzey iletken bir materyel ile kaplanmaktadır.

- ✓ Eğer numune elektron demetini içinde muhafaza edebilecek kadar kalın ise, iyonizasyon ve luminesans için kullanılacak fazla enerji ısıya dönüşecektir. Isıya dönüşen bu enerjinin görünür belirtileri numunenenin ısıl iletim özelliğine göre değişiklik gösterir. Gelen elektron demetinin ısıtma hızı, numunenenin ısıyı ileterek veya radyasyonla yayma kabiliyetinden yüksekse numune lokal olarak ısınacak ve buharlaşma gerçekleşebilecektir.

# Elektron Mikroskobu

## 6- Absorplanmış (numune) akım

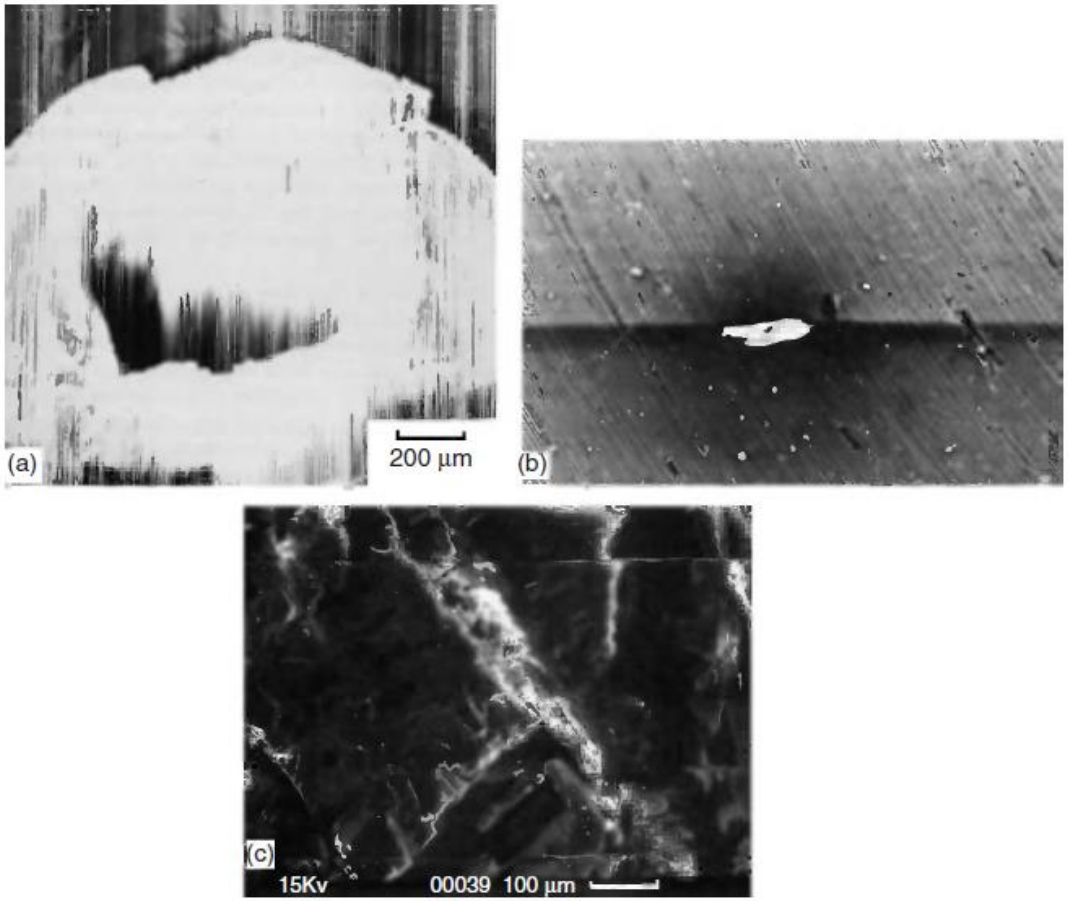



**Figure 4.22** Image artifacts due to surface charging: (a) gross charging effects on Teflon™; (b) negative charging of nonconductive particles on an Al substrate, which induces positive charge on the substrate as shown by dark contrast; and (c) charging causes unstable signals as shown in discontinuities when scanning a calcite crystal. (Reproduced with kind permission of Springer Science and Business Media from: (a) and (c), Ref. [1]. © 1992 Springer Science; (b), Ref. [3]. © 1998 Springer-Verlag GmbH.)

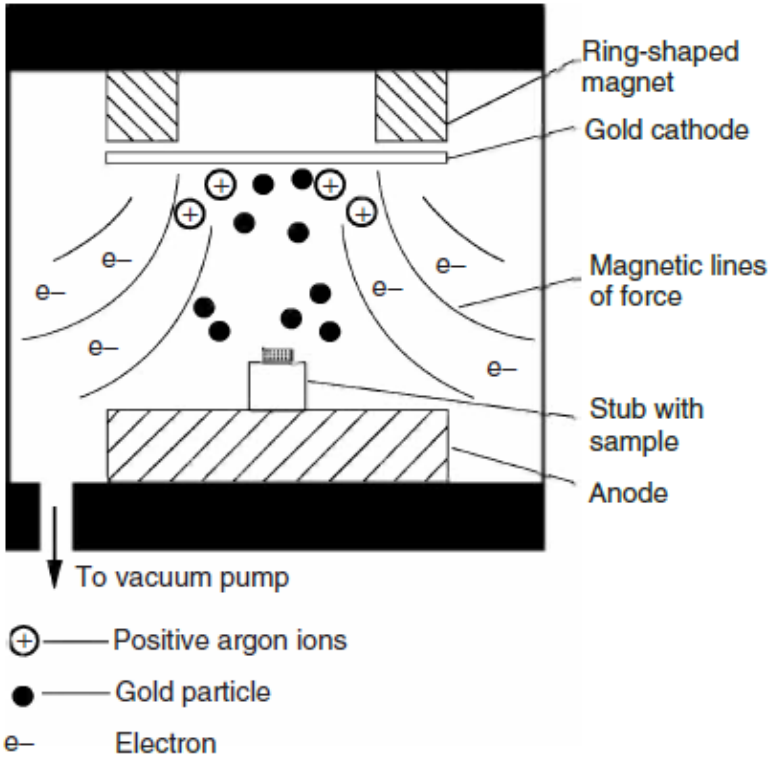



**Figure 4.23** Sputtering gold onto a specimen surface.

# Elektron Mikroskobu

## 7- Geçen Elektronlar

Numune yeteri kadar ince ise gelen elektronların bir kısmı penetre olacak ve geçecektir. Gelen birincil demetten saparak çarpışmalarla enerjilerini kaybedebilirler. Çarpışmanın durumuna göre gruplara ayrılarak numune hakkında bilgi vermektedirler.

**1-Elastik olarak saçılmış elektronlar:** atom çekirdeğinden büyük bir açı ile saçılan elektronlar neredeyse hiç enerjilerini kaybetmemektedirler. Saçılan elektron sayısı atom numarası ile orantılı olmaktadır.

**2- İnelastik saçılmış elektronlar:** numune içindeki çarpışmalarda değişik miktarlarda enerji kaybı olmaktadır. Atomik numaraya bağlı olarak enerji kayıp spektrumu elementel analize imkan vermektedir. İnelastik olarak olarak saçılan elektron sayısı atom numarasına bağlı olarak değişmektedir. (electron energy loss spectroscopy, EELS)

**3- Saçılmamış elektronlar:** numune içinde herhangi bir enerji kaybı veya sapma göstermeyen elektronlardır, dolayısıyla inelastik saçılmalardan kolaylıkla ayrılabilir. Toplam elastik saçılan, inelastik saçılan ve saçılmamış elektronlar eşzamanlı olarak ölçülürse, numune boyunca farklı atomik numaralar hakkında farklı bilgiler elde edilebilir.