



TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE (TEM)

Zeynep Orhan^{*1}

^{1*}Department of Physics, Science Faculty, Atatürk University, Atatürk University,Erzurum, Turkey

(Alınış / Received: 19.09.2021, Kabul / Accepted: 19.10.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2021)

*Corresponding Author: zeynep.orhan@atauni.edu.tr (Z.ORHAN)
(ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2593-4307>)

Keywords

Electron Microscope,
Transmission Electron
Microscopy (TEM),
Inorganic and organic
material,
Electron,

Abstract: Transmission Electron Microscopy (TEM) is used for the simultaneous determination of micro/nano and crystal structure of inorganic and organic materials. Devices with lanthanum hexaboride (LaB6) electron gun operating under accelerating voltage in the range of 40-200 kV are particularly suitable for imaging biological, polymeric and nano-structured materials in high resolution (HR) or high contrast (HC) mode. The device can switch from search mode (viewing the on-screen camera) to high-quality, full-size image capture mode (main camera mode) with the push of a button, allowing quick snapshots of the selected area. Since the device can switch from high resolution mode to high contrast mode very quickly, it is suitable for versatile use and is suitable for examining and analyzing both materials and various biological samples.

GEÇİRİMLİ ELEKTRON MİKROSKOBU (TEM)

Anahtar Kelimeler

Elektron Mikroskobu,
Geçirimli Elektron
Mikroskobu (TEM),
İnorganik ve organik
Malzeme,
Elektron

Özet: Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) inorganik ve organik malzemelerin eş zamanlı mikro/nano ve kristal yapısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Lantan hekzaborür (LaB6) elektron tabancalı, 40-200 kV aralığında hızlandırıcı voltaj altında çalışan cihazlar özellikle biyolojik, polimerik ve nano yapıli malzemelerin yüksek çözünürlük (HR) ya da yüksek kontrast (HC) modunda görüntülenmesi için uygundur. Cihaz tek bir düğmeye basarak arama modundan (search mode) (ekran kamerasını görüntüleyerek) yüksek kaliteli, tam boyutlu resim çekme moduna (main camera mode) geçiş yapabildiği için seçilen alandan hızlı bir biçimde görüntü alınmasını sağlar. Cihaz yüksek çözünürlük modundan yüksek kontrast moduna çok hızlı geçiş yapabildiği için çok yönlü kullanım için uygundur ve hem materyallerin hem de çeşitli biyolojik örneklerin incelenip analiz edilmesine uygundur..

1. Giriş

Yüksek voltaj altında hızlandırılmış elektronların bir numune üzerine gönderilmesiyle, elektronlar ile numune atomları arasında çeşitli etkileşimler olur. Bu etkileşimler sonucunda numuneden farklı enerjide elektronlar ve X-ışınları çıkar. Bu etkileşimlerden yararlanılarak numunenin incelenmesi elektron mikroskobunun çalışma prensibini oluşturur. Eğer hızlandırılmış elektronlar ince numune üzerine gönderilmiş ise, elektronların

bir kısmı etkileşmeden numunenin diğer tarafında kırınıma uğrayarak numunenin alt yüzünden dışarı çıkar. Bu tür elektronları kullanarak numunenin iç yapısının incelenmesi geçirimli elektron mikroskobuyla olur. Bu elektron mikroskobu Transmission Electron Microscope (TEM) olarak adlandırılır [1].

TEM atomik seviyede görüntü, kimyasal analiz imkânı ve kristalografik bilgi oluşturduğu için çok

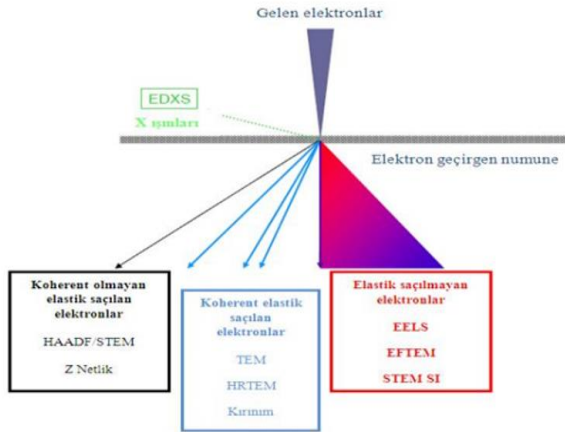
çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Kullanılan bu amaçlardan belli başlıları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Faz içeriğinin ve fazların tane boyutunun belirlenmesi,
- Mekanik deformasyonun oluşup oluşmadığının belirlenmesi,
- Bir iç yapıda mikron-altı boyutlar için bir fazın amorf mu kristal yapıda mı olduğunun bulunması,
- Farklı kristaller arasında oluşan hataların şeklinin belirlenmesi.

TEM cihazlarında nanoparçacık, karbon nanotüp, nanoplaka, nanofiber, polimer malzemeler, nanosünger, bakteriyofaj, polimerik-RNA gibi numuneler incelenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Geçirimli elektron mikroskobunda (TEM) elektron-madde etkileşimiyle farklı sinyaller oluşmaktadır. Bunlar; elastik olarak saçılan elektronların, doğrudan geçen elektronların, elastik olmadan saçılan elektronların ve karakteristik X-ışınlarının oluşturduğu sinyallerdir. Her bir sinyal farklı tekniklerde kullanılmaktadır [1]. Şekil 1'de toplanan bu sinyaller ve hangi tekniklerde kullanıldıkları gösterilmektedir.

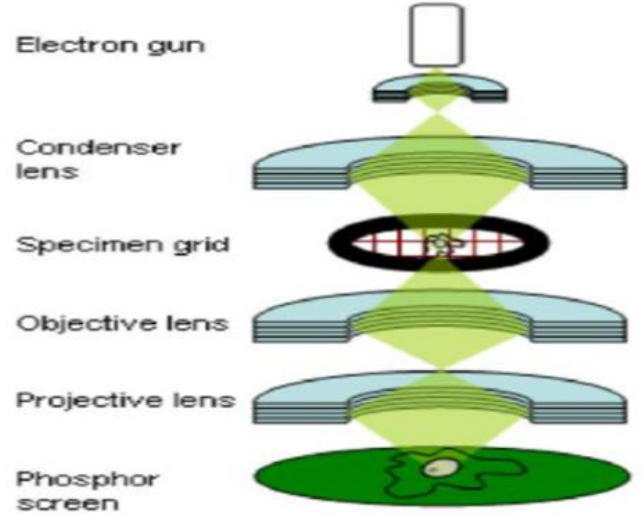


Şekil 1 Elektron-madde etkileşimi sonucu oluşan sinyaller ve kullandıkları teknikler [2].

2.1 TEM Cihazının Genel Çalışma Prensibi

TEM cihazında elektron kaynağından çıkan elektron demeti numuneye çarpar ve bir kısmı numuneden geçer. Geçen bölüm objektif lensler yardımıyla odaklanılarak görüntü oluşturur. Görüntü daha sonra kolondan aşağıya projektör lensine doğru büyütülerek ilerler. Görüntü en sonunda fosfor görüntü ekranına yansıtılır ve dışarıdan sağlanan bir ışık kaynağı altında görüntülenir. TEM cihazında görüntüleme aydınlık alan ve karanlık alan görüntüleme tekniği olarak iki şekilde oluşmaktadır

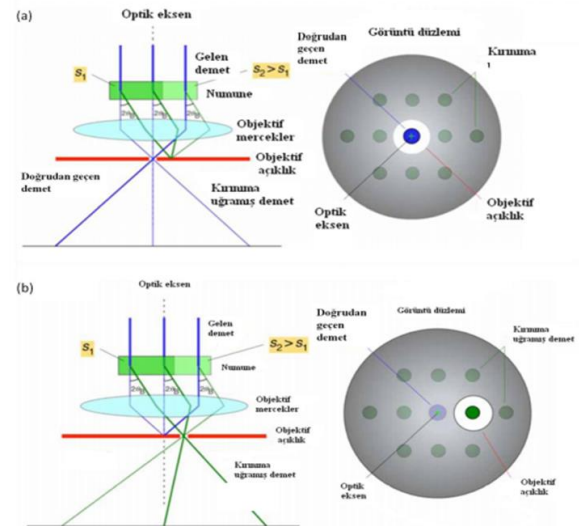
[3].



Şekil 2 Elektron-madde etkileşimi sonucu oluşan sinyaller ve kullandıkları teknikler [3].

2.1.1 TEM Aydınlık Alan ve Karanlık Alan Görüntüleme Tekniği

Doğrudan geçen elektronların kullanıldığı aydınlık alan (bright field, BF) görüntüleme tekniği ile elastik olarak saçılan elektronların kullanıldığı karanlık alan (dark field, DF) görüntüleme tekniği TEM'de temel netlik mekanizmalarına karşılık gelir. Şekil 3'de BF ve DF görüntüleme tekniklerinin çalışma prensipleri şematik olarak gösterilmiştir.

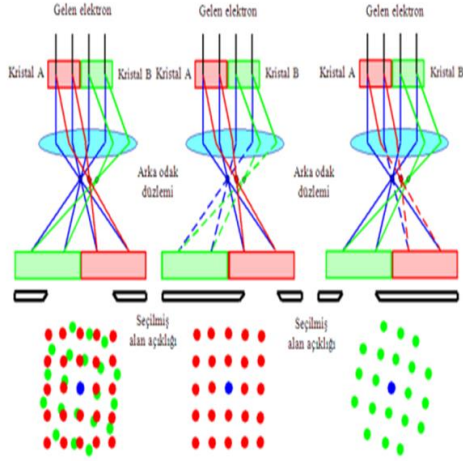


Şekil 3 (a) BF ve (b) DF görüntüleme tekniklerinin çalışma prensipleri [4]. Saçıklık (slit width)

2.1.2 Seçilmiş Alan Tekniği

Elektronların dalgaboyları bilindiği sürece, düzlemler arası mesafe kırınım ağından

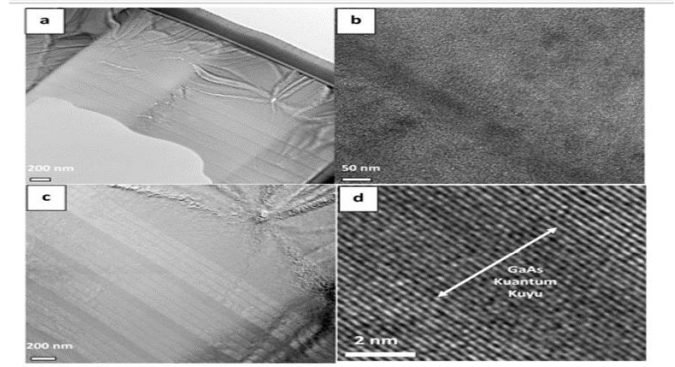
hesaplanabilir. Ayrıca kristal simetri hakkında bilgi edinilebilir. Diğer kırınım teknikleriyle çok geniş alanlar taranırken TEM'deki kırınım tekniği ile nanometre boyutlarında inceleme yapılabilir. Seçilmiş alan kırınımı (selected area diffraction, SAD) tekniğinde genel olarak kırınım örgüleri belirlenmiş bir yapıda, istenilen bölgenin kırınım örgüsü farklı açıklıklar yardımı ile elde edilir. Bu yöntem kristal yapıyı ve hataları belirlemede kullanılır. Şekil 5'de seçilmiş alan açıklığı ile numunenin farklı bölgelerinden alınmış kırınım ağlarının şekli gösterilmektedir.



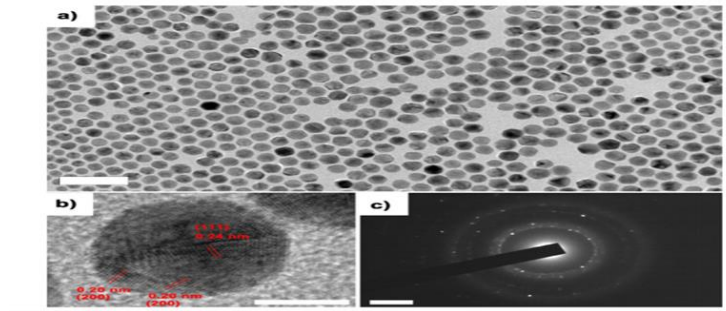
Şekil 5 SAD açıklığı ile numunenin farklı yerlerinden alınan kırınım ağları [5].

3. Sonuç ve Tartışma

Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) inorganik ve organik malzemelerin eş zamanlı mikro/nano ve kristal yapısının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (high resolution transmission electron microscopy, HRTEM) ise yapısal hataların, ara yüzeylerin ve tane sınırlarının görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Atom dizilimleri doğrudan görüntülenebilir. Şekil 6 ve 7'de TEM ve HRTEM ile alınmış örnek görüntü gösterilmektedir [6].



Şekil 6 (a-c) GaAs/AlGaAs kuantum kuyulu yapıların TEM görüntüsü. (b-d) HRTEM



Şekil 7 (a-c) Au nanopartiküllerinin TEM görüntüsü. (b) HRTEM. (c)SAED

Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) küçük boyuttaki görüntüleri elde etmek için ışık yerine elektron demetini kullanan bir mikroskoptur. TEM cihazıyla;

- Nanomalzemeler için boyut belirleme,
- Yüksek çözünürlükte görüntü elde etme ve eş zamanlı görüntü kaydetme,
- Elementel haritalama,
- STEM modu aracılığıyla uygun numunelerde karanlık alan görüntülemesi yapılabilmektedir

Çıkar çatışması

Yazar, bu makalede rapor edilen çalışmayı etkileyebilecek görünen hiçbir rekabet halindeki finansal çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] Ashcroft, N.W., Mermin, N.M. (1976). Solid State Physics, Int.Ed., Saunders College Publishing, Philadelphia, A.B.D.

[2] Williams, D. B., & Carter, C. B. (1996). Transmission electron microscopy Plenum Press. New York and London.

[3] Karakulak, T. (2010). GaAs/AlGaAs tabanlı kuantum kuyularının TEM (geçirimli elektron mikroskobu) ile analizi (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).

[4] Williams, D. B., & Carter, C. B. (1996). Transmission electron microscopy Plenum Press. New York and London.

[5] Kuru, H. (2010). GaAs/AlGaAs tabanlı kuantum kuyularının optiksel ve elektriksel karakterizasyonu (Master's thesis, Anadolu Üniversitesi).

[6] Bozzola, J. J., & Russell, L. D. (1999). Electron microscopy: principles and techniques for biologists. Jones & Bartlett Learning.