Si ÜZERİNE BÜYÜTÜLMÜŞ Au (111) YÜZEYİNİN TARAMALI TÜNELLEMELİ MİKROSKOP İLE İNCELENMESİ

Uğur Niyazi AKKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2006
ANKARA

Uğur Niyazi AKKAYA tarafından hazırlanan Si ÜZERİNE BÜYÜTÜLMÜŞ Au (111) YÜZEYİNİN TARAMALI TÜNELLEMELİ MİKROSKOP İLE İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Gökay UĞUR
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökay UĞUR

Üye : Prof. Dr. Bora ALKAN

Üye : Prof. Dr. Mehmet KASAP

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAK

Tarih : 22/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Uğur Niyazi AKKAYA

Si ÜZERİNE BÜYÜTÜLMÜŞ Au (111) YÜZEYİNİN TARAMALI TÜNELLEMELİ MİKROSKOP İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Uğur Niyazi AKKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2006

ÖZET

Bu tezde taramalı tünellemeli mikroskop (STM) kullanılarak Si alt taş üzerine Au(111) yüzeyinin yeniden yapılanması ölçüldü. STM ölçümleri 2.10^{-10} mbar basıncın altında, oda sıcaklığında ve sabit akım modunda yapıldı. Bu çalışmadaki bütün STM görüntüleri tünelleme akımının 0,372 nA ve boşluk geriliminin +0,421 V değerinde alındı. Bütün tünelleme deneylerinde elektrokimyasal olarak aşındırılmış Pt uç kullanıldı. Altın için iyi bilinen 0,288 nm'lik atomlar arası mesafe ile ölçülen ≈ 0,261 nm'lik mesafe uyum içindedir.

Bilim Kodu : **202.1.147**
Anahtar Kelimeler : **Au (111) yüzeyi, Taramalı Tünellemeli Mikroskop**
Sayfa Adedi : **68**
Tez Yöneticisi : **Yrd. Doç. Dr. Gökay UĞUR**

INVESTIGATION OF Au (111) ON Si SURFACE BY MEANS OF SCANNING TUNNELING MICROSCOPY

(M.Sc. Thesis)

Uğur Niyazi AKKAYA

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006

ABSTRACT

In this thesis, we have measured reconstruction of the Au (111) surface on Si by scanning tunneling microscopy (STM). The STM observation were done in the constant current mode at room temperature at a pressure below 2.10^{-10} mbar. All the STM images were taken at a tunneling current of 0,372 nA and a sample gap voltage of +0,421 V. Electrochemically etched Pt tips have been used for all tunneling experiments The observed atomic spacing of ≈ 0,261 nm compares well with the known gold interatomic distance of 0,288 nm.

Science Code : 202.1.147
Key Words : Au (111) surface, Scanning Tunneling Microscopy
Page Number: 68
Adviser : Asist. Prof. Dr. Gökay UĞUR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Gökay UĞUR' a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Dr. Can Doğan VURDU'ya, ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

DPT 2001 K 120590 kodlu ve "İleri Araştırma ve Eğitim Programları" başlıklı proje tarafından desteklenen bu tezin tamamlanmasında her türlü desteği veren proje yürütücüsü ve Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK' e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. KRİSTAL YAPI VE TEORİSİ 2

2.1. Kristal Örgü 3

2.1.1. İki boyutlu örgü 7

2.1.2. Üç boyutlu örgü türleri 8

2.2. Kristal Düzlemleri İçin İndis Sistemi 11

2.3. Basit Kristal Yapıları 11

2.3.1. Kübik ve hegzagonal sıkı paket yapılar 11

2.3.2. İyonik katıların yapıları 12

2.3.3. Elmas ve çinko sülfür yapıları 14

2.4. Metaller 15

2.5. Yüzey Kristal Yapısı 16

3. YÜZEY ANALİZİNDE KULLANILAN DENEYSEL TEKNİKLER 18

Sayfa

3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....18

3.2. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) 20

3.3. Taramalı Tünellemeli Mikroskop (STM) 21

3.3.1. STM için temel unsurlar..... 22

3.3.2. Elektron tünellemesi..... 25

3.3.3. STM çalışma modları 29

3.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) 31

3.4.1. AFM için operasyon modları..... 33

3.5. Çok Yüksek Vakum (UHV)..... 35

3.5.1. UHV pompalama sistemi..... 37

3.5.2. Titanyum sublimation pompa (TSP) 38

3.5.3. İyon pompası..... 40

3.5.4. Cryosorption pompa..... 41

3.5.5. Turbomoleküler pompa 42

3.5.6. Rotary pompa..... 42

3.5.7. Göstergeler..... 42

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....45

4.1. Uç Hazırlama 48

4.2. Kesme metodu..... 51

4.2.1. DC solution (Eşik Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturma 52

4.2.2. DC aşındırma solüsyon (Farklı Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturma 54

4.3. DC Aşındırma “Lamella” Yöntemiyle Tünel Uç Oluşturma..... 55

Sayfa

4.4. Numune Hazırlama 58

4.5. Ölçümler ve Tartışma 59

KAYNAKLAR 65

ÖZGEÇMİŞ 69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Eksen sistemleri 9

Çizelge 3.1. Titanyum filmi pompalama hızına 1 s^{-1} cm^{-2} de sıcaklığın etkisi..... 40

Çizelge 4.1. Uç aşındırma materyallerinin sınıflandırılması 49

Çizelge 4.2. Aşındırma metodunun avantaj ve dezavantajları 50

Çizelge 4.3. Kontrol panelindeki anahtarlar, düğmeler 51

Çizelge 4.4. Polikristal tungsten uç için uç aşındırma parametreleri 54

Çizelge 4.5 Lamella yöntemiyle polikristal tungsten uç için uç aşındırma Parametreleri .....…… 57

Çizelge 4.6. STM ölçüm parametreleri..... 59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Üç boyutlu bir örgü ve kristalin yapısı 2

Şekil 2.2. Üç boyutlu bir kristal örgüsü için kristalografik eksenler ve birim hücre 4

Şekil 2.3. İki boyutlu Wigner-Seitz hücresi 6

Şekil 2.4. İki boyutlu uzayda eğik örgü ve farklı birim hücreler 7

Şekil 2.5. İki boyutlu uzayda örgü yapıları 8

Şekil 2.6. Örgü öteleme vektörleri ve aralarındaki açılar 8

Şekil 2.7. 7 kristal sistemin 14 Bravais örgüsü 10

Şekil 2.8. Sıkı paketli altıgen yapı ve yüzey merkezli kübik yapının oluşumu 12

Şekil 2.9. Sodyum klorür kristal yapısı 13

Şekil 2.10. Sezyum klorür kristal yapısı 13

Şekil 2.11. Elmas kristalinin yapısı 14

Şekil 2.12. Çinko sülfür kristalinin yapısı 15

Şekil 2.13. (a) Metal, (b) Yarıiletken, (c) Yalıtkan maddeler için bant enerji seviyeleri 16

Şekil 3.1. SEM' in şematik diyagramı 19

Şekil 3.2. Elektron demeti ve numune etkileşimi 20

Şekil 3.3. STM' in şematik diyagramı 22

Şekil 3.4. STM'in elektronik devresi 23

Şekil 3.5. Bir ucun şematik gösterimi 24

Şekil 3.6. U yükseklikli bir engel üzerine soldan gelen bir tanecik için dalga fonksiyonu 26

Şekil 3.7. Uç ile numune arasındaki tünelleme 27

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.8. Numune ucuna negatif ve pozitif potansiyel uygulanmış durumlar 29

Şekil 3.9. Sabit akım modu 30

Şekil 3.10. Sabit yükseklik modu 30

Şekil 3.11. Bariyer yükseklik görüntüleme.....31

Şekil 3.12. Atomik kuvvet mikroskobunun şematik diyagramı.....32

Şekil 3.13. Piezoelektrik diske voltaj uygulandığında disk'in genişlemesi.....32

Şekil 3.14. Biri keskin diğeri keskin olmayan iki tane prob 33

Şekil 3.15. AFM kontak mod 34

Şekil 3.16. AFM titreşim modu.....34

Şekil 3.17. AFM bükülme modu 35

Şekil 3.18. Vakum pompalarının basınç aralıkları 38

Şekil 3.19. İyon pompasının şematik gösterimi 41

Şekil 3.20. Göstergelerin basınç aralıkları 43

Şekil 4.1. Au (111) yüzeyinin yeniden yapılanmasının modeli 45

Şekil 4.2. Gerçek ve ters uzayda Au(111) yüzeyinin örgü vektörleri…….46

Şekil 4.3. Au(111) yüzeyinin minimol programıyla elde edilen görüntüsü……...46

Şekil 4.4. Kontrol panelin şematik diyagramı.....50

Şekil 4.5. Aşındırma çözeltisinin sistematik diyagramı.....53

Şekil 4.6. Lamella yönteminin sistematik diyagramı 56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Tipik bir TSP görüntüsü 39

Resim 4.1. Au (111) yüzeyinin STM görüntüsü 47

Resim 4.2. Au(111) yüzeyinin $22 \times \sqrt{3}$ şeklinde yeniden yapılanması..... 47

Resim 4.3. Uç aşındırma sistemi 48

Resim 4.4. Yapılan Uçların optik mikroskoptaki görüntüleri 58

Resim 4.5. Au (111) yüzeyinin AFM görüntüsü 59

Resim 4.6. Oda sıcaklığında alınan iki ve üç boyutlu STM görüntüleri 60

Resim 4.7. Enine ve boyuna yükseltiler 61

Resim 4.8. a)1.5×1.5 nm'lik alanda, boşluklar arasındaki mesafe
b)6×6 nm'lik alanda, boşluklar arasındaki mesafe 62

Resim 4.9. Au(111) atomları arasındaki mesafe 63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
Å	Angström
Au	Altın
C	Karbon
^{0}C	Santigrat derece
$CH_3CH(OH)CH_3$	İzopropil alkol
Cl^-	Negatif yüklü klor iyonu
Cs^+	Pozitif yüklü sezyum iyonu
CsCl	Sezyum klorür
^{0}F	Fahrenhayt derece
Fcc	Yüzey merkezli kübik yapı
Hcp	Sıkı paketli altıgen yapı
Hz	Hertz
K	Kelvin
keV	Kilo elektron volt
mA	Mili amper
mbar	Mili bar
mmHg	Milimetre civa
mV	Mili volt
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Soydun hidroksit
nm	Nano metre
Pa	Paskal
Si	Silisyum
ZnS	Çinko sülfür

Kısaltmalar	Açıklama
AES	Auger elektron spektroskopisi
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
FEM	Alan emisyon mikroskobu
FİM	Alan iyon mikroskobu
LEED	Düşük enerjili elektron kırınımı
PS	Foto elektron spektroskopisi
RHEED	Yansımalı yüksek enerjili elektron kırınımı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
STM	Taramalı tünellemeli mikroskop
TEM	Geçirmeli elektron mikroskobu
TSP	Titanyum sublimation pompa
UHV	Çok yüksek vakum

1. GİRİŞ

Yüzey özelliklerinin incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar, onların yapısal, pürüzlülük gibi temel özelliklerinin anlaşılmasında ve böylece teknolojideki kullanım sahasının belirlenmesinde büyük fayda sağlamaktadır. Vakum altında bir kristalin yüzeyi, hacim içindeki yapıdan oldukça farklıdır. En dıştaki birkaç atomik tabaka olarak tanımlanabilen yüzey, tümüyle temiz, üzerinde yabancı atomlar çökeltilmiş veya içi katkılanmış olabilir. Yüzey temiz ise, en dıştaki tabaka yapılandırılmamış bir yüzeyde atomik düzen hacim içindekiyle aynı olur. Ancak en dış tabaka aralığı biraz farklı olur.

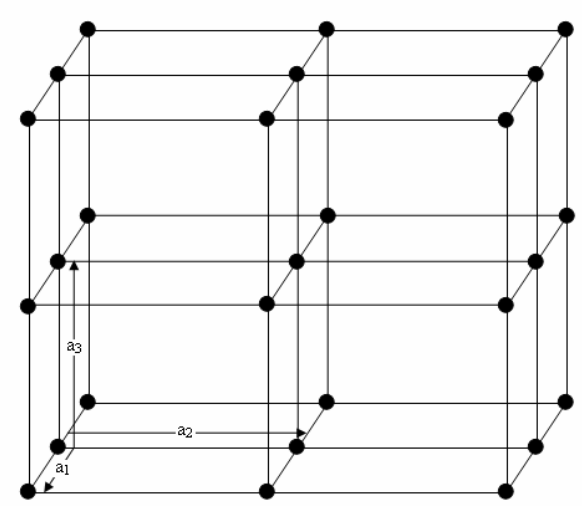
Yarıiletken alt taşlar üzerine metal yüzeylerinin oluşturulması, elektronik özellikleri ve düşük boyutta yüzey yapılarının çeşitliliği yüzünden bir çok araştırmacının ilgisini çekmektedir [1-9]. Silisyum (Si) alt taş üzerine altın (Au) büyütülmesi mikro elektronik endüstrisinde ve bir çok teknolojik cihazda yeni gelişmelere yol açtığından hala bu malzemenin araştırılmasına devam edilmektedir [9,10,11]. Si üzerine Au büyütme işlemi hem bir boyutlu hem de iki boyutlu yapılar içeren zengin faz diyagramları gösterir. Bu işlem aynı zamanda özellikle alt taşın sıcaklığına ve kristalografik yönelimine bağlıdır [12–15]. Düz veya basamaklı silisyum alt taş üzerindeki altının çeşitli yapılarının metalik olduğu gösterilmiştir [9, 10, 11].

Taramalı Tünellemeli Mikroskop (STM), yüzey analizinde kullanılan deneysel bir tekniktir. Bu teknik bize atomların uzaydaki görüntüleri, moleküllerin büyüklükleri ve yerleşimleri, yüzey bozuklukları hakkında önemli bilgiler sunar.

Bu tezde Omicron Firması tarafından temin edilen silisyum alt taş üzerine büyütülmüş altın numunesi kullanıldı ve bu numunenin yüzeyi Taramalı Tünellemeli Mikroskop (STM) ile incelendi. Elde edilen STM ölçümleri, daha önceki deneysel ölçümlerle karşılaştırıldı.

2. KRİSTAL YAPI VE TEORİSİ

Kristal yapılar belirli bir düzen içerisinde bir araya gelen atomların bu düzenlerini üç boyutta periyodik olarak devam ettirmeleri ile oluşur. Bunlar, bir çeşit üç boyutlu duvar kâğıdı gibi, düzgün tekrarlanan bir deseni temel alan atomik yapıya sahip katılardır. Kristal yapıda hemen dikkati çeken özellik simetridir. Bu özellik kristalin ilk kez oluşumu sırsında ortaya çıkar ve kristal oluşumu sırasında bir dış fiziksel zora uğramıyorsa veya içerisinde bulunduğu kabın şeklini almaya zorlanmıyorsa, iç atomik yapısına bağımlı olacak şekilde bir dış görünümle oluşur. Bir kristalin simetrisinin kristalin özellikleri üzerinde çok büyük etkileri vardır. Bu simetriyi bir nokta ile gösterecek olursak, üç boyutta oluşan kristal, noktalardan yapılmış bir kafes gibi düşünülebilir. Şekil 2.1'de üç boyutlu kristal bir yapı gösterilmektedir. [16].



Şekil 2.1. Üç boyutlu bir örgü ve kristalin yapısı

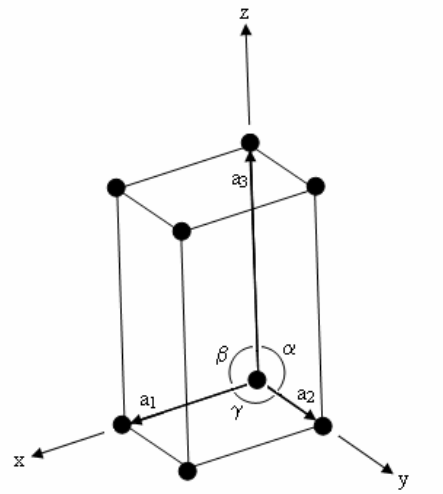
Herhangi bir doğrultuda ilerlendiğinde atomlar arası uzaklık ve atomların geometrik özellikleri değişmez. İdeal bir kristal özdeş yapı taşlarının uzayda sonsuza kadar dizilişi ile oluşturulur. Basit kristallerde (bakır, gümüş, altın, demir, alüminyum ve alkali metal) en küçük yapısal birimler tek atomlardır. Ancak en küçük yapısal birim birkaç atom veya molekül olabilir [17].

2.1. Kristal Örgü

Kristalin yapısını tanımlamak için kristal içerisinde bir koordinat eksenler takımı seçmek gerekir. Başlangıç noktası ilke olarak herhangi bir yerde olabilir fakat atomların birisine denk getirilmesi alışılmış bir yoldur. Bir sonraki adım kristal içinde başlangıç noktasına her bakımdan özdeş olan tüm konumları belirlemektir. Konumların özdeş olması demek, herhangi bir konumda bulunan gözlemcinin, başlangıç noktasındaki gözlemci ile herhangi bir doğrultuda aynı görmeye sahip olması demektir. Bu yolla belirlenen özdeş noktalar takımı kristal örgüsü olarak adlandırılır [18]. Tüm kristallerin yapısı bir örgü ile tanımlanabilir. Her örgü noktasında atom gruplarından oluşan bir baz vardır ve bu bazın bileşimi, yerleşimi ve yönü aynıdır. Örgünün her noktasına bir baz eklendiğinde bir kristal yapısının oluştuğu görülmektedir [17].

Kristal eksenlerini tanımlamakta genellikle ilkel öteleme vektörleri kullanılır. Şekil 2.2'de üç boyutlu bir kristal örgüsü için kristalografik eksenler ve birim hücre gösterilmiştir. Kristal koordinat eksenlerinin doğrultuları, başlangıç noktasındaki örgü noktasını en yakın üç komşusuna birleştirerek tanımlanır. Komşuların seçim işlemi bazen çok açıktır ama bunun böyle olmadığı durumda, örgünün simetrisini en açık bir şekilde gösteren ilkel olmayan eksenlerde kullanılır [18].

Kristalografik x, y ve z eksenleri boyunca olan en yakın örgü noktalarının mesafeleri ve doğrultuları üç tane $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ ve $\vec{a}_3$ örgü vektörleri tarafından belirlenir. Örgü $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ ve $\vec{a}_3$ vektörlerinin uzunlukları ile bunlar arasındaki α, β ve γ açıları verilerek tümüyle belirlenir.



Şekil 2.2. Üç boyutlu bir kristal örgüsü için kristalografik eksenler ve birim hücre

Tüm örgü noktalarının konumlarına, aşağıdaki biçime sahip olan mümkün tüm vektörler başlangıç noktasından itibaren çizilerek ulaşılır [18].

Bir örgü öteleme operasyonu

$$\vec{T} = u_1\vec{a}_1 + \vec{u}_2\vec{a}_2 + \vec{u}_3\vec{a}_3 \qquad (2.1)$$

İle gösterilen bir kristal öteleme vektörü ile tanımlanır. Örgü üzerindeki herhangi iki nokta bu tür bir vektörle birbirine ötelenebilir [17].

Burada u_1, u_2 ve u_3 pozitif, negatif ve sıfır değerini alabilen mümkün tüm tamsayılardır. Eş. 2.1 tarafından verilen tüm konumlardan bakıldığı zaman kristalin özdeş görülmesi, bu kristalin, öteleme değişmezliği özelliğine sahip olduğunu gösterir. Bir kristal örgüsünde başlangıç noktasının seçimindeki bir kaymanın meydana getireceği etki, aynı miktarda bir bütün olarak, örgüdeki bir kaymadır [18].

Daha öncede belirtildiği gibi, bir örgü $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ ve $\vec{a}_3$ gibi üç temel öteleme vektörü ile tanımlanır. Buna göre, atomların dizilişi bir $\vec{r}$ konumlu yerde nasıl ise,

$$\vec{r}^{\,l} = \vec{r} + u_1\vec{a}_1 + u_2\vec{a}_2 + u_3\vec{a}_3 \qquad (2.2)$$

olan $\vec{r}^{\,l}$ konumlu bir yerde de aynı olur. Bir kristal yapısını tanımlarken, örgünün ve bazın seçimi hangi $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ ve $\vec{a}_3$ vektörlerinin kullanılacağı belirlenmelidir. Belirli bir yapı için birden fazla örgü, belirli bir örgü için de birden fazla eksen takımı seçme olanağı her zaman vardır. Bu seçimlerin sonunda baz tanımı yapılabilir. Eğer Eş. 2.1 sağlanıyorsa tüm hesaplar doğru çıkacaktır [17].

Bir simetri işlemi, özdeş noktaları bir simetri operasyonundan sonra aynı veya özdeş konuma getiren işlem olarak tanımlanabilir. Örgü ötelemesi bir simetri işlemidir. Bunun dışında bir eksen etrafında gerçekleştirilen dönme hareketiyle herhangi bir örgü ilk konumu ile ayırt edilemeyecek şekilde benzeyen yeni bir konuma gelmiş ise bu tür işleme dönme işlemi denir. Her biri 360^0, 180^0, 120^0, 90^0, 60^0 derecelik dönme operasyonuna karşılık gelen 1, 2, 3, 4 ve 6 kat simetriye sahip dönme eksenleri bulunabilir.

Benzer şekilde kendisi üzerinde oluşacak bir yansıma ile özdeş noktalar oluşturabilen bir düzleme simetri düzlemi ve bu işleme yansıma işlemi denir [16]. Kristalik periyodisite, 'birim hücre' denilen üç boyutlu geometrik şekiller yardımı ile tasvir edilebilir. Kristali tümü özdeş ve aynı atomik dağılıma sahip birim hücreler topluluğu olarak düşünebiliriz. Kristali oluşturan bu hücreler aralarında hiçbir açıklık kalmayacak şekilde yan yana yerleşirler. Hücrelerden birisi, örgü vektörü ötelemesi yardımı ile diğer bir hücrenin yerini alabilir. Herhangi bir birim hücre, üç esas örgü vektörü yardımı ile paralelkenar prizma olarak kurulabilir. Hücre köşeleri örgü noktalarında olacak şekilde yerleşir, fakat bu bir şart değildir. Verilen bir kristali tanımlamak için kullanılan örgü vektörlerinin birden fazla seçme şansı olduğuna göre birim hücrenin de birden fazla türü olacaktır. Hücre mümkün olan bütün birim hücreler içinde en küçük hacme sahip olan ise bu hücreye 'ilkel hücre' denir. İlkel hücre içindeki baza ilkel baz denir. Kristaldeki her bir birim hücre için bir örgü noktası ve bir ilkel baz vardır. Örgü noktası sekiz köşenin her birinde bulunur fakat bunların her birini de sekiz hücre paylaşır. Böylece hücre başına bir tane örgü noktası

düşer. Kristallerin periyodisitesini tarif ederken bazen ilkel olmayan birim hücreler kullanılır. Bu tür bir hücre, birden fazla örgü noktası içerir. Birim hücre başına atomların sayısını tayin ederken, köşelerdeki, kenarlardaki ve yüzlerdeki bütün atomları hesaba katabiliriz fakat sayımı yaparken atomları sırası ile 1/8, 1/4 ve 1/2 oranında hesaplarız. Hücre içindeki her bir atom ise yine bir atom olarak sayılır.

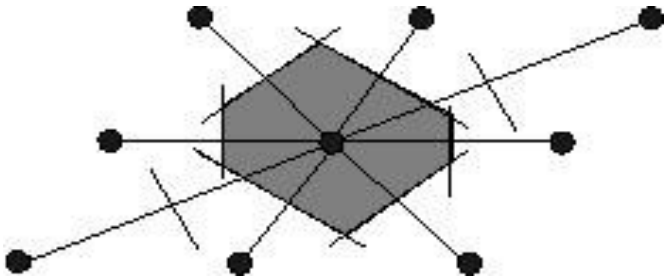
Birim hücrenin hacmi, esas örgü vektörleri yardımı ile bulunabilir. Şekil 2.2'deki hücre için; tabandaki paralelkenarın alanı $\vec{a}_1$ ve $\vec{a}_2$ yardımı ile

$$\left|\vec{a}_1 \times \vec{a}_2\right| = a_1 a_2 \sin\gamma \tag{2.3}$$

olarak bulunur. Hücrenin hacmi bu taban alanı ile tabana dik olan $\vec{a}_3$ vektörünü çarparak bulunur. Hücrenin V_c hacmi

$$V_c = \left|\vec{a}_3.(\vec{a}_1 \times \vec{a}_2)\right| \tag{2.4}$$

olarak verilir. Başka bir hücre türü de Şekil 2.3'de gösterilen Wigner-Seitz hücresidir. Bu hücre türü paralelkenar prizma birim hücresinin yerine sıkça kullanılır.



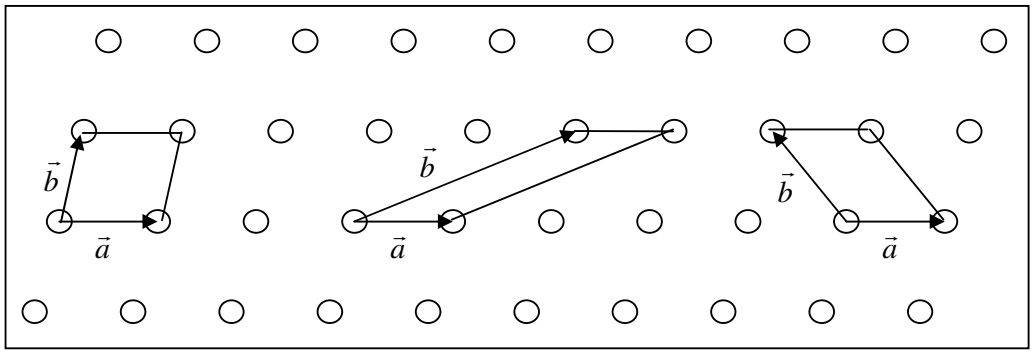
Şekil 2.3. iki boyutlu Wigner-Seitz hücresi

Kristalin ilkel bazında bir tek atom bulunduğu durumlarda, Wigner-Seitz hücresi o

şekilde düzenlenir ki, örgü noktalarından biri hücrenin merkezinde bulunur. Wigner-Seitz hücresinde her bir noktanın merkeze uzaklığı, başka bir noktaya olan uzaklığından daha kısadır. Böyle bir hücrede merkez olarak bir örgü noktası seçilir ve bu noktayı diğer en yakın örgü noktalarına birleştiren doğruların orta dikmeleri, iki boyutta bir düzlem, üç boyutta ise orta dikme düzlemleri birim hücre hacmini belirler. İşte bu en küçük hacimli geometrik şekil Wigner-Seitz hücresidir [19].

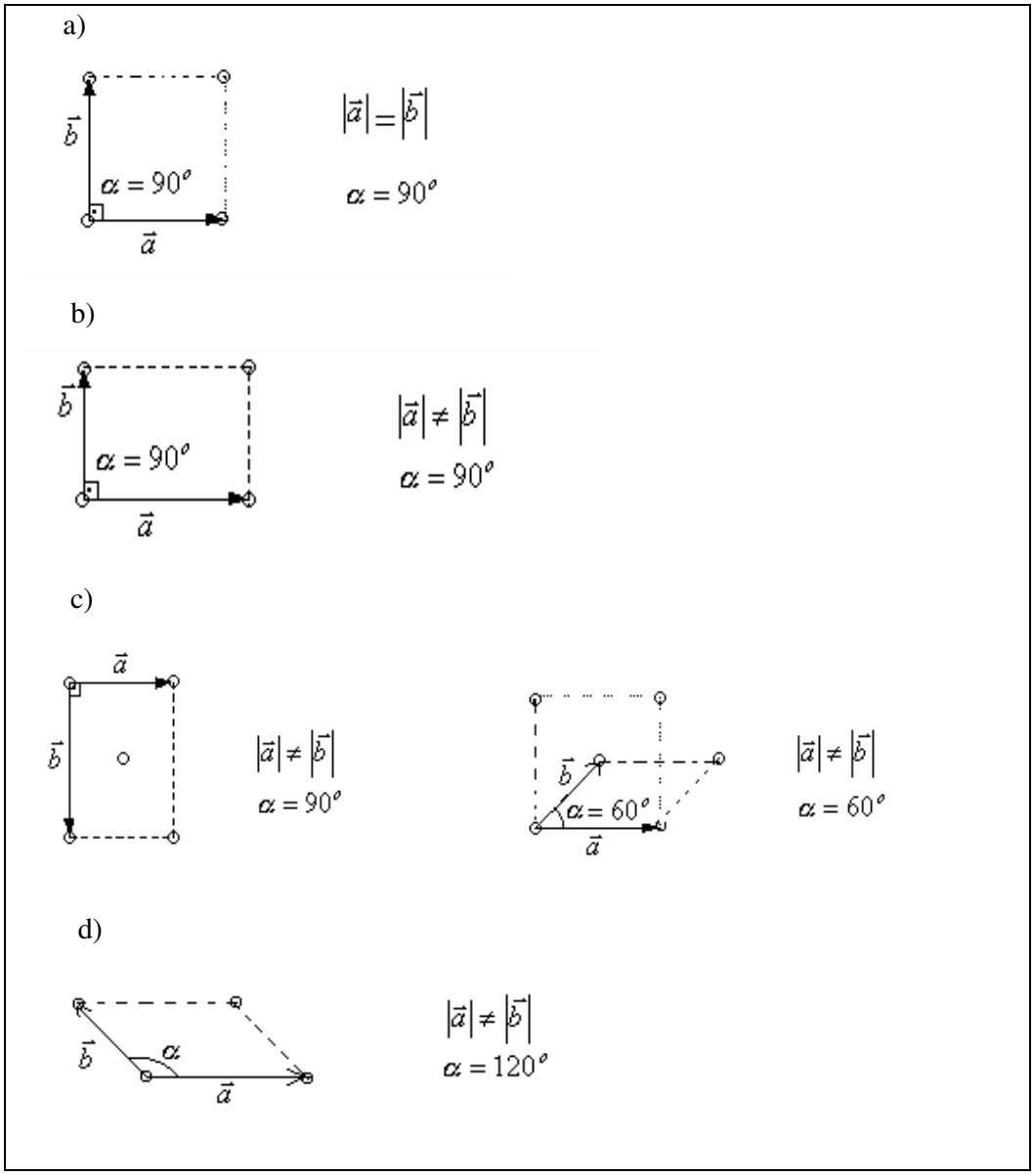
2.1.1. İki boyutlu örgü

Kristal örgüler, örgü öteleme ve daha farklı simetri işlemleri altında değişmeden kalırlar. Örgü öteleme vektörleri $\vec{a}$ ve $\vec{b}$'nin büyüklükleri ile bu vektörler arasındaki θ açısı üzerine sınırlama getirilmediği takdirde sonsuz sayıda örgü elde edilebilir. Şekil 2.4'de görülen örgü, herhangi iki $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ vektörü ile çizilmiştir. Böyle genel bir örgüye eğik örgü denir ve sadece π ve 2π açıları kadar dönme simetrisi vardır.



Şekil 2.4. İki boyutlu uzayda eğik örgü ve farklı birim hücreler

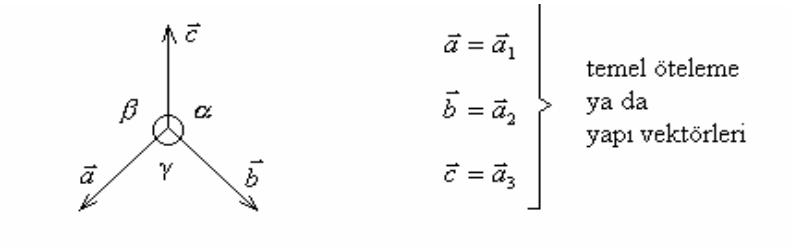
Değişmez kalan bir örgü kurmak istiyorsak $\vec{a}$ ve $\vec{b}$ vektörlerine kısıtlama getirmeliyiz. Başlıca 4 tür kısıtlama vardır ve her biri özel bir örgü türüne yol açar. Bu örgüler Şekil 2.5'de görülen dört örgüdür. Bu dört özel örgüye eğik örgüyü de dâhil edersek, düzlemde 5 farklı örgü türü oluşur. Genel olarak tüm kısıtlamalar sonucu elde edilen örgü türlerine Bravais örgüleri adı verilir. İki boyutta toplam 5 adet Bravais örgüsü vardır [17].



Şekil 2.5. İki boyutlu uzayda örgü yapıları: a) Kare örgü; b) Dikdörtgen örgü; c) Merkezli dikdörtgen örgü; d) Altıgen örgü

2.1.2 Üç boyutlu örgü türleri

$\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ vektörleri kristalin referans eksenlerini oluştururlar. Bu eksenler ve aralarındaki açılar Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Örgü öteleme vektörleri ve aralarındaki açılar

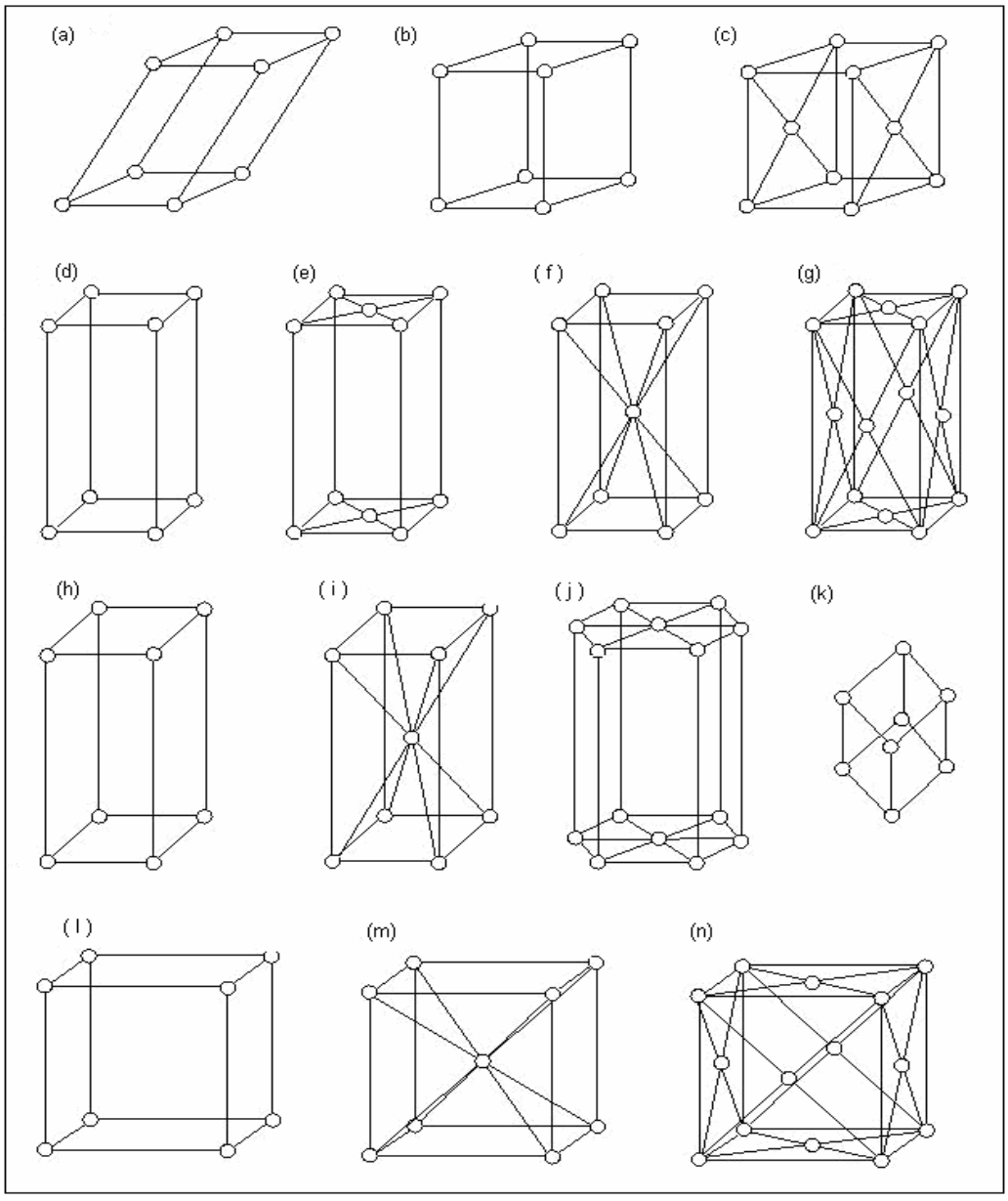
Vektörlerin birbirlerine eşit olma veya olmama durumları ile aralarındaki açılar düşünülürse, birbirinden farklı 14 değişik şekil ortaya çıkar. Doğada gözlenen kristaller eksenleri arasındaki uzaklıkları ve açılara göre sınıflandırılacak olursa toplam olarak yedi tane eksen sisteminin bulunduğu sonucuna varılır. Eksen sistemleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [16].

Çizelge 2.1. Eksen sistemleri

Kristal sistemi	Bravais örgü	Birim hücre özellikleri
Triklinik	Basit	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$
Monoklinik	Basit Taban merkezli	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$
Ortorombik	Basit Taban merkezli Cisim merkezli Yüzey merkezli	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$
Tetragonal	Basit Cisim merkezli	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$
Hegzagonal	Basit	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90° \gamma = 120^0$
Trigonal	Basit	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$
Kübik	Basit Cisim merkezli Yüzey merkezli	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

Kristalde örgü kavramını belirleyen ilk gösterim Bravais tarafından yapıldığı için bu 14 örgü çeşidine bravais örgüleri denir. Sonsuz sayıda ürüne ve farklı kristal yapıları olmasına karşın, sadece 14 farklı örgü şekli vardır [16].

Bunlar; triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, kübik, trigonal (rombohedral) ve hegzagonal kristal sistemleridir. Bu sistemler Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Gruplama, geleneksel birim hücreler için, özel eksen bağımlılıklarına göre yapılır. Paralel yüzlülerin kenarları $\vec{a}, \vec{b}$ ve $\vec{c}$ örgü ötelemesi ile belirtilir [17].



Şekil 2.7. 7 kristal sistemin 14 Bravais örgüsü: (a) Triklinik ; (b) ve (c) Monoklinik ; (d), (e), (f), (g) Ortorombik ; (h), (i) Tetragonal ; (j) Hegzagonal ; (k) Trigonal ; (l), (m), (n), Kübik yapıları göstermektedir.

2.2. Kristal Düzlemleri İçin İndis Sistemi

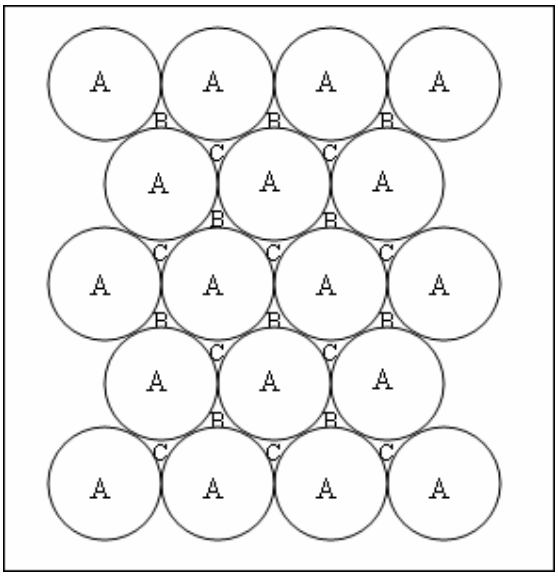
Uzayda bir kristal düzlemi, aynı doğru üzerinde olmayan üç nokta ile belirlenir. Eğer bu noktalar farklı birer kristal ekseni üzerinde yer alıyorlarsa, düzlemi belirten noktaların koordinatları a_1, a_2, a_3 örgü sabitleri cinsinden verilebilir.Kristal yapı analizleri için daha kullanışlı olan yöntem her bir düzlem için indisler tanımlamaktır.Bu indisleri belirlerken iki önemli kurala dikkat etmelidir. İlk olarak, belirtilmek istenen düzlemin kristal eksenini kestiği noktalar örgü sabitleri cinsinden bulunur. Bu eksenler ilkel hücrenin eksenleri olmak zorunda değildir. İkinci olarak yapılması gereken, bu sayıların tersleri alınır ve aynı orana sahip en küçük üç tam sayı elde edilecek şekilde indirgenir. Bir parantez içerisinde (hkl) şeklinde gösterilen sayı kümesi o düzlemin indisi olur. (hkl) indisleri bir düzlemi veya birbirlerine paralel düzlemleri belirtebilir. Sonsuzda kesime karşılık gelen dindis sıfır rakamı ile gösterilir. Eğer bir düzlem, eksenlerden birini negatif tarafta keserse bu eksene karşılık gelen indis negatif olur ve bu indis üzerine gelen bir '–' işareti ile gösterilir: ($\bar{h}$kl). Simetri açısından birbirine eşit olan düzlemlerin indisleri {hkl} şeklinde gösterilirler. Kristal içerisinde bir yön, o yöndeki bir vektörün bileşenleri arasındaki en küçük orana sahip tamsayılar üçlüsüyle [uvw] şeklinde gösterilir. Örneğin kübik bir kristalde [hkl] yönü bu yöne dik olan düzlemin (hkl) indislerine eşittir. Fakat bu özellik diğer kristal sistemlerinde doğru olmayabilir [19].

2.3. Basit Kristal Yapıları

2.3.1. Kübik ve hegzagonal sıkı paket yapılar

Bir malzemenin kristal yapısı, içinde bulunan atomlar arası kuvvetlerin doğasına bağlıdır. Bazı katılarda, birçok metalde, ve özellikle asal gaz katılarında iyi bir yaklaşıklıkla atomlar birbirlerini çeken sert kürelere benzerler. Minimum enerji için atomların mümkün olduğu ölçüde birbirlerine yakın bir şekilde paketlenmelidir [18]. Özdeş küreleri uzayda konumlandırırken paketleme oranının maksimum olması için sınırsız sayıda yöntem vardır. Bu yöntemlerden birisi sıkı paketli altıgen yapı, diğeri

ise yüzey merkezli kübik yapıdır. Bu yapıların oluşumu Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Her küre komşu altı küreye değecek şekilde bir düzlemde sıkı paketlenmiş bir ağ tabakasına yerleştirilirler. Bu tabaka hem hcp yapısının taban düzlemlerine, hem de fcc yapısının (111) düzlemine karşılık gelir. Diğer bir B tabakası, A tabakasının üzerine ve A tabakısındaki üç küreye değecek şekilde yerleştirilir. Üçüncü bir C tabakası ise iki farklı şekilde konulabilir. Üçüncü tabakanın küreleri, en alttaki tabakanın bıraktığı boşlukların üzerine ve B tabakasında boş bırakılan yerlere geliyorsa fcc yapısı elde edilir. Tersine üçüncü tabakanın küreleri birinci tabakadaki kürelerin tam üzerine geliyorsa hcp yapısı oluşur [17]. Böyle bir fcc yapı ile kristalleşen elementlere alüminyum, bakır, altın, gümüş, nikel, kurşun, kripton, argon, neon ve xenon örnek olarak gösterilebilir [18].

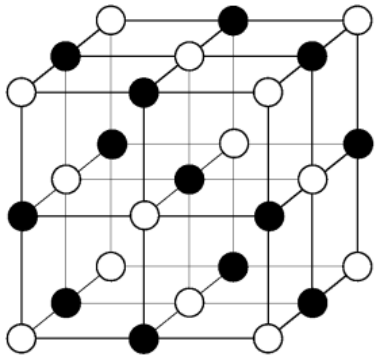


Şekil 2.8. Sıkı paketli altıgen yapı ve yüzey merkezli kübik yapının oluşumu

2.3.2. İyonik katıların yapıları

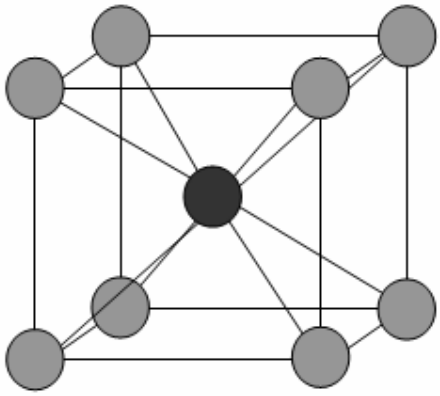
İyonik katıların kristal yapısına sıkı paket kavramı egemendir. Bunun nedeni zıt yüklü iyonların birbirine yaklaşmasıdır. Sodyum klorür (NaCl) gibi bir kristalde eşit sayıda pozitif ve negatif iyon bulunduğundan yapı büyük bir olasılıkla, katyon etrafında sıkıca bağlanmış olan anyonların sayılarıyla belirlenir. Bu kristal örgü bir

fcc örgü örneği olup Cl^- iyonları da, [100] doğrultusunda birim hücrenin yarısı kadar yer değiştirmiş bir fcc örgü üzerine yerleşmiştir. Kristaldeki her iyonun zıt yüklü en yakın altı komşusu vardır. Bu yapı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Sodyum klorür kristal yapısı.

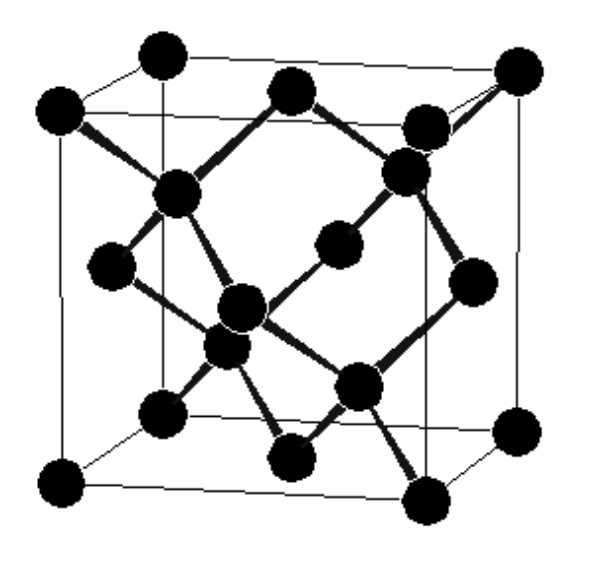
Sezyum klorür (CsCl) iyonik katısı, eşit sayıda anyon ve katyon ihtiva eder. Bu yapı merkezinde Cl^- iyonları, köşelerde ise Cs^+ iyonları bulunan kübik bir hücrelerden oluşur. İlkel hücre başına bir CsCl molekülü düşer. Her baz bir moleküldür. Böylece bu yapıdaki tüm anyonlar ve katyonlar aynı çevreye sahip olurlar. Bu kristal yapısı Bravais sınıflandırmasında basit kübik bir yapıdır. Bu yapı Şekil 2.10'da gösterilmiştir [18].



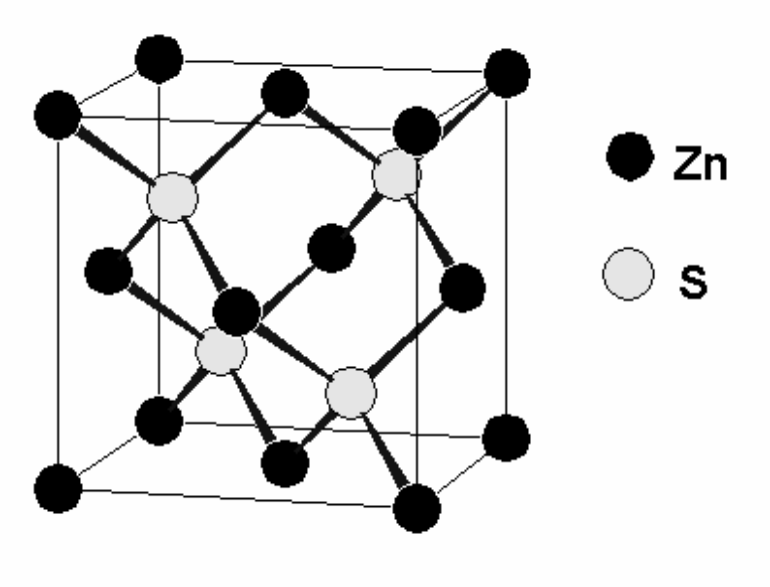
Şekil 2.10. Sezyum klorür kristal yapısı.

2.3.3. Elmas ve çinko sülfür yapıları

Şekil 2.11'de görüldüğü gibi elmas kristalinin yapısında atomik konumların hepsi karbon atomları tarafından doldurulmuştur. Bu yapıda, en yakın komşu sayısı 4 ve ikinci en yakın komşu sayısı ise 12 dir. Bu yapıdaki karbon atomları bir dörtyüzlünün köşelerinde olan dört tane en yakın komşusuyla kovalent bağlı olup bular bir fcc örgü üzerine yerleşmişlerdir. Diğer atomlar, doğrultuları [111] olan bir fcc örgüsü üzerinde birim hücrenin dörtte biri kadar yer değiştirmiş şekilde bulunurlar. Elmas yapının atomlar arası kuvvetleri bir çok metalik, iyonik ve asal gaz katısından çok farklı olup sıkı paket yapısından da çok uzaktır. Yine IV. Grupta bulunan silisyum ve germanyum yarı iletken elementleri de elmas yapıda kristalleşirler. Şekil 2.12'de görülen çinko sülfür kristalinin yapısı (ZnS) elmas yapıya benzer şekilde kristalleşir. Bu yapıdaki elmas atomlarının bir türü çinko atomlarıyla, diğer türünün de sülfür atomlarıyla yer değiştirmesi bu yapının elmas yapıdan farklı olmasını sağlar. Elmas ve çinko sülfür yapıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir [18].



Şekil 2.11. Elmas kristalinin yapısı

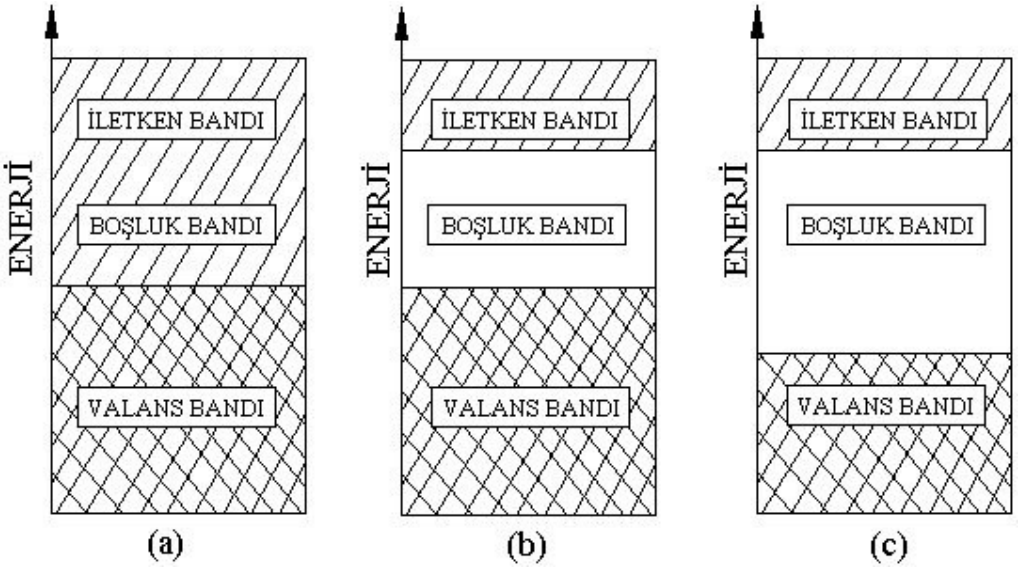


Şekil 2.12. Çinko sülfür kristalinin yapısı

2.4. Metaller

İyi bir iletkenle iyi bir yalıtkan arasında çarpıcı bir fark vardır. 1 K sıcaklıkta saf bir metalin elektrik özdirenci, süper iletkenlik durumu göz önüne alınmadığında 10^{-10} ohm-cm kadar küçük olabilmektedir. İyi bir yalıtkanın öz direnci 10^{22} ohm-cm kadar yüksek olabilmektedir. Bu 10^{32} mertebe farkı katıların belki en önemli fiziksel özelliğidir.

Her katı madde elektronlar içerir. Elektrik iletkenliği açısından önemli olan konu uygulanan bir elektrik alanda elektronların nasıl davrandığıdır. Kristaldeki elektronlar, elektron yörüngelerinin bulunmadığı enerji bölgeleriyle ayrılmış enerji bantları içinde yer alırlar. Bu enerji bantları şekil 2.13'de gösterilmiştir. Enerji aralıkları veya bant aralıkları denilen bu yasak bölgeler, iletkenlik elektron dalgalarının kristal iyonları ile etkileşmesi sonucu oluşur.



Şekil 2.13. (a) Metal, (b) Yarıiletken, (c) Yalıtkan maddeler için bant enerji seviyeleri

İzinli enerji bantları tamamen dolu veya tamamen boş ise kristal bir yalıtkan gibi davranır gibi davranır, çünkü elektronlar bir elektrik alanda hareket edemezler. Bir veya daha çok bant yarı dolu ise kristal, bir metal gibi davranır. Bir veya daha çok bant zayıf oranlarda dolu veya boş ise kristal, bir yarı metal veya yarı iletken olur [17].

2.5. Yüzey Kristal Yapısı

Yüzey yapısı genellikle iki boyutta periyodik olur. Bu, tüm atomların bir düzlemde yer aldığı anlamına gelmez. Yüzey yapısı bazen, çökeltilmiş olan yabancı atomların yapısında olabilir. Yüzey fiziğinde iki boyutlu bravais örgüye ağ, hücreye de göz denir. Şekil 2.4'de iki boyutta olabilecek beş ağ yapısından dördü gösterilmiştir. Beşincisi, göz vektörleri $\vec{a}_1$ ve $\vec{a}_2$ arasında hiçbir simetri ilişkisi bulunmayan eğik ağ' dır. Buna göre iki boyutlu ağ türleri eğik, kare, altıgen, dikdörtgen ve merkezli dikdörtgen olurlar. Yüzey yapısının ağını tanımlayan $\vec{c}_1$, $\vec{c}_2$ vektörleri ile referans vektörleri arasındaki ilişki bir $\vec{P}$ matrisi ile belirlenir [17].

$$\begin{bmatrix} \vec{c}_1 \\ \vec{c}_2 \end{bmatrix} = \vec{P} \begin{bmatrix} \vec{a}_1 \\ \vec{a}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_1 \\ \vec{a}_2 \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

Yüzey gözünün ters ağ vektörleri $\vec{c}^{*}_1, \vec{c}^{*}_2$

$$\vec{c}_1.\vec{c}^{*}_2 = \vec{c}_2.\vec{c}^{*}_1 = 0 \quad , \quad \vec{c}_1.\vec{c}^{*}_1 = \vec{c}_2.\vec{c}^{*}_2 = 2\pi \tag{2.6}$$

şeklinde tanımlanabilir [17].

3. YÜZEY ANALİZİNDE KULLANILAN DENEYSEL TEKNİKLER

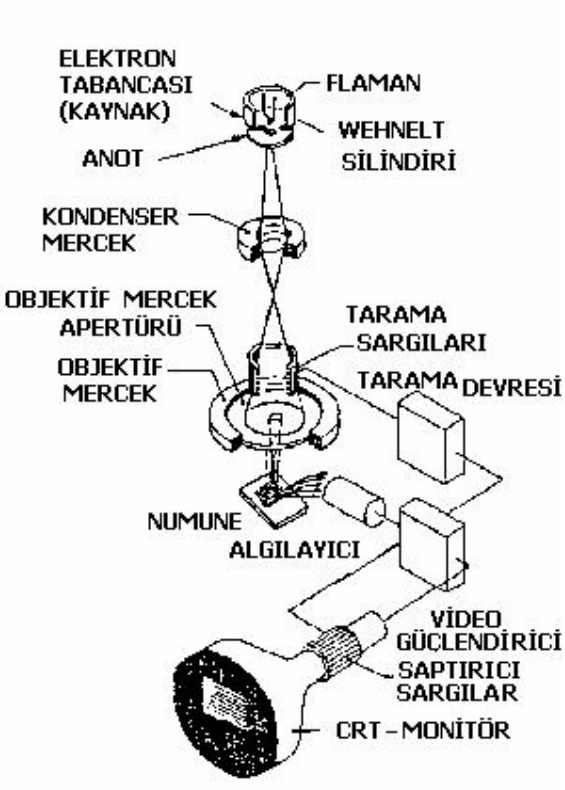
Bu bölümde, yüzey analizi için kullanılan mikroskobik teknikler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra UHV (çok yüksek vakum) sisteminden ve vakum kavramından bahsedilecektir.

3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronlar numune üzerine odaklanır. Daha sonra bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkiler uygun algılayıcılarla toplanır. Elde edilen sinyal, sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışını tüpünün ekranına aktarılmasıyla görüntü elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir [20].

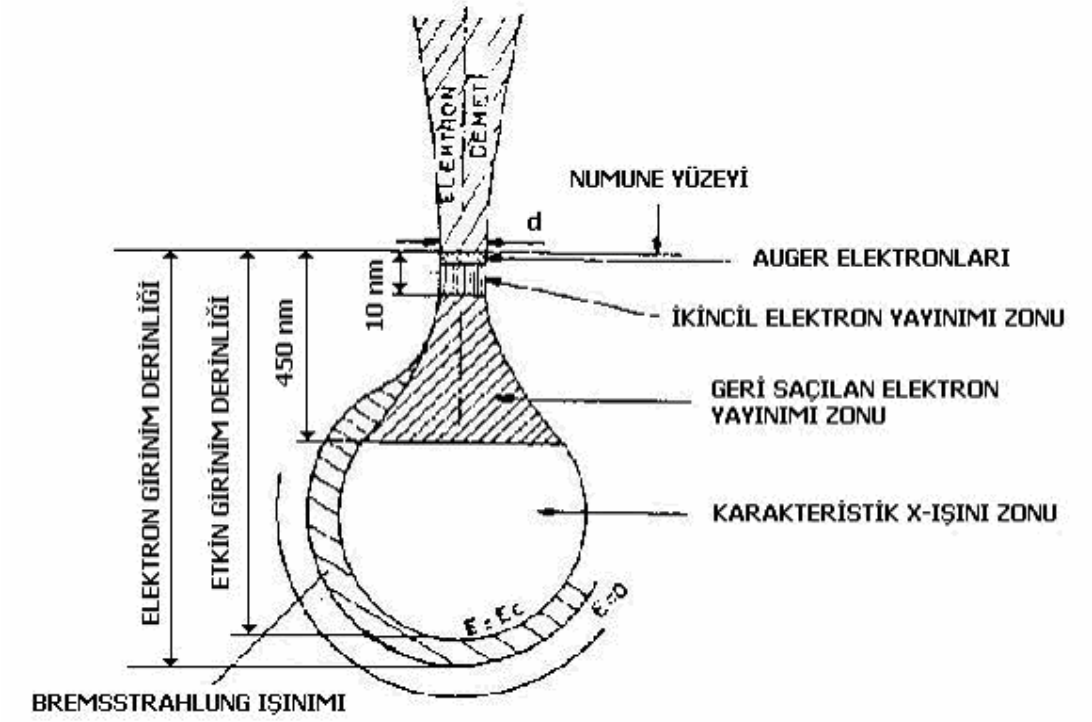
Taramalı elektron mikroskobu, optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bu Şekil 3.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Optik kolon kısmında, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için kondenser mercekleri, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apertürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10^{-4} Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır [20].

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan detektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla dikdörtgensel olarak tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.



Şekil 3.1. SEM'in şematik diyagramı [20]

Yüksek voltaj altında (yaklaşık 1- 10 keV) ivmelendirilen elektron demeti ile numune arasındaki etkileşim Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Yüksek enerjili demet elektronları numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektronlar olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha küçük bir derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır [20].



Şekil 3.2. Elektron demeti ve numune etkileşimi [20].

3.2. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM)

TEM, materyallerin mikro yapılarını çok yüksek çözünürlükte karakterize etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik numunenin morfolojisi, kristal yapıları ve eksiklikleri, kristal safhaları ve oluşumları hakkında bilgi almamızı sağlar. TEM'in çözünürlüğü yaklaşık 2,4 Å' dur. Bu çok çeşitli yapısal bilgilerin elde edilmesi için çok ince numuneler üretilmesi gerekir (100- 1000 Å). Bu teknik ışık mikroskobu ile aynı temel düşünceye dayanır. Ancak TEM' de farklı olarak fotonların yerine elektronlar, cam lenslerin yerine de elektromanyetik lensler kullanılmaktadır. Çok ince bir numunenin içine yüksek enerjili bir elektron demeti gönderilir. Bu elektron demeti, numune üzerinde küçük bir noktaya elektromanyetik lensler tarafından odaklanır ve floresan perde üzerinde oluşturulan görüntü dijital kamerayla kaydedilir. Elektronlar ışığın dalga boyundan çok daha küçük bir dalga boyunda hızlandırılırlar. Elektronlar 200 keV' da 0,025 Å dalga boyuna sahiptirler. Optik mikroskobun çözünürlüğü ışığın dalga boyuyla sınırlandırılırken elektron

mikroskobunun çözünürlüğü elektromanyetik lenslerdeki doğal sapmalar tarafından sınırlandırılır. Bunlardan başka yüzey analizinde Foto elektron Spektroskopisi (PS), Auger Elektron Spektroskopisi (AES), Alan Emisyon Mikroskobu (FEM), Alan İyon Mikroskobu (FIM) gibi teknikler de kullanılır [20].

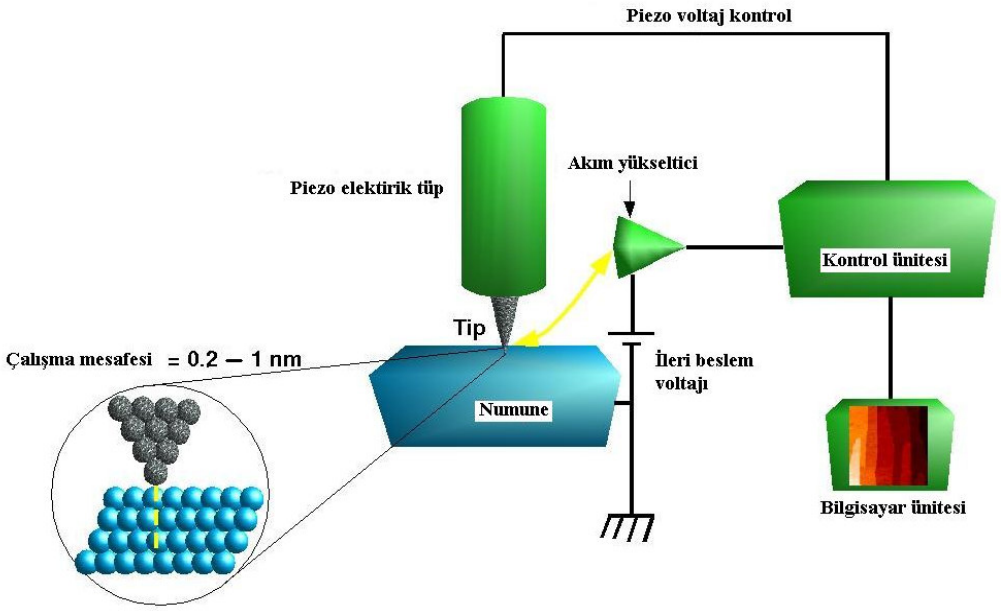
3.3. Taramalı Tünellemeli Mikroskop (STM)

Yüzey analizinde kullanılan Taramalı Tünellemeli Mikroskop (Scanning Tunneling Microscopy), yüzey analizi için çok önemlidir. 1982'de IBM laboratuarında G. Binning ve W. Rohrer tarafından geliştirildi. Binning ve Rohrer bu çalışmalarından dolayı 1986 nobel fizik ödülünü almaya hak kazandılar [21].

STM'le, yüzey karakterizasyonu, yüzey bozuklukları, moleküllerin büyüklükleri ve yerleşimleri, çok yüksek çözünürlükte atomların uzaydaki görüntüleri hakkında bilgi verir. STM atomik ölçekte çözünürlük sağladığı için bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel alanlarda geniş kullanıma sahiptir.

STM' de çok ince metalik bir ucu iletken numuneye birkaç Å yaklaştırıp uç ile numune arasına $(U \leq 4V)$ bir voltaj uygulanması durumunda, uç numune ile fiziksel temas halinde olmamasına rağmen numuneden uca veya uçtan numuneye doğru küçük bir elektrik akımı (0,01 nA – 50 nA) akar.

Bu olay 'Elektron Tünellemesi' olarak adlandırılır. Akım veya uç pozisyonunda meydana gelen değişimlerden yüzeyin haritası çıkarılabilmektedir. Tünelleme akımının uç – numune aralığına üstel bağlılığı yüksek dikey çözünürlükte sonuçlanır. 0,01 Å' a kadar dikey çözünürlük elde edilirken enine çözünürlük yaklaşık 0,1 Å' dur. STM, çok yüksek vakum (UHV) ortamlarda kullanılabilir [21]. Şekil 3.3'de STM' in şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. STM' in şematik diyagramı [20]

STM' de teknik açılar;

i) Birkaç milimetreden 0,01 Å' a uç – numune mesafesini kontrol etme

ii) Hatasız kenar (yanal) pozisyonlama

iii) Kararlı uç – numune mesafesi

iV) Keskin uç

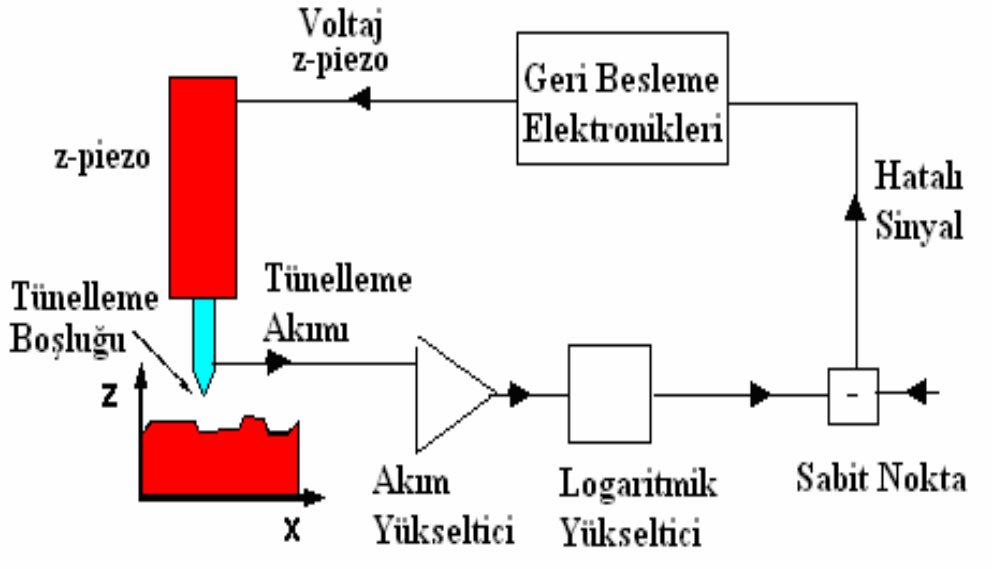
V) 0,01 nA – 50 nA arasındaki akımı ölçme [20]

3.3.1 STM için temel unsurlar

Geri besleme devresi: Sabit akım modunda ölçüm yapılması durumunda Z-piezoyu (uç numune arasındaki boşluğu) kontrol etmek için bir geri besleme devresi kullanılmalıdır.

Tünelleme akımı, (0,01 nA- 50 nA) akım yükseltici tarafından gerilime çevrilir. Tünelleme boşluğuna göre çizgisel bir tepki almak için sinyal logaritmik bir yükseltici tarafından çevrilir. Logaritmik yükseltici daha önceden belirlenmiş bir

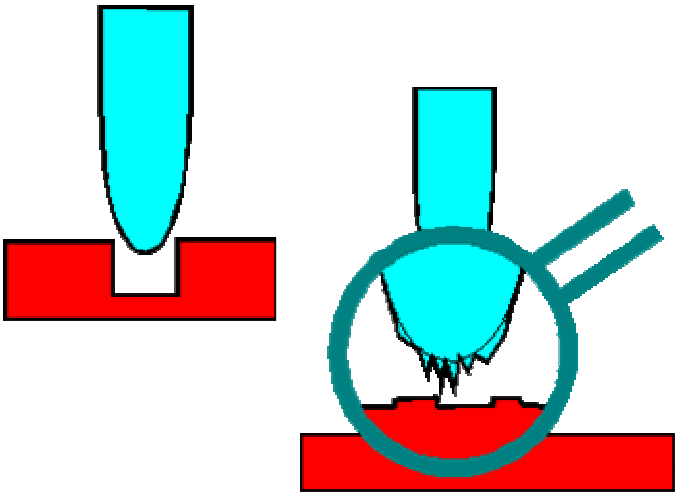
voltaj ile karşılaştırılır. Hata sinyali geri besleme devresine geçirilir. Bu da akım belirleme noktası ve tünelleme akım küçülmesi arasındaki farkı tutmak amacıyla voltajı *Z-piezo*'ya uygular. Gürültü sinyal oranını düşük seviyede tutmak için dikkatli olunmalıdır. Ayrıca ölçümlerin hatasız olması için geri besleme tepki zamanı da en aza indirilmelidir [20].



Şekil 3.4. STM'in elektronik devresi [20]

Titreşim izolasyonu: İyi atomik çözünürlük elde etmek için uç – numune arasını 0,01 A' da sabit tutulması gerekir. Bu yüzden iç titreşimleri azaltmak veya dış titreşimlerden sistemi arındırmak kesinlikle gereklidir.
Çevresel titreşimler arasında Binanın titreşmesi (15 – 20 Hz), Koşan insanlar (2 – 4 Hz), Vakum pompaları, Ses sayılabilir [20].

Uç: STM deneyinde uç, en ustalık isteyen bölümdür. Kaba yapıları ölçmek için küçük bir eğime ihtiyaç duyar. Atomik çözünürlük için tek atomik ucu olan bir mini uca ihtiyaç vardır. Uçlar genellikle tungsten (W), platin (Pt), altın (Au) ya da Pt–Ir telinden yapılır [20].



Şekil 3.5. Bir ucun şematik gösterimi [20]

Uç yapmanın iki şekli vardır;

Kesme ve döndürerek sürtme: Çok sivri ve keskin bir uç, mekanik olarak bir zımpara ya da bileme taşı üzerinde sürtülerek elde edilebilir.

Elektrokimyasal kesme: Yapılacak ucun özelliğine uygun çözelti ve katot olarak kullanılacak elektrot seçilerek elektroliz kabı içine yerleştirilir. Örneğin tungsten uç için uygun çözelti NaOH ve katot da çelik teldir. Bu metot 4. Bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Pozisyonlama: Uç ile numune arasındaki mesafeyi kontrol etmek için ince pozisyon bulucu kullanılır. İnce pozisyon bulucu tarayıcı olarak da kullanılır. Her ince pozisyon tarayıcı piezokristal veya piezoseramik malzemeden yapılır. Angström mertebesindeki mekanik yer değiştirmeler bu malzemelerle sağlanır [20].

Bilgisayar sistemi : Akım değişimlerini veriye ve daha sonra da görüntüye dönüştürmek için kullanılır. Aynı zamanda ucun konumunu kontrol etmek için de kullanılır.

3.3.2 Elektron tünellemesi

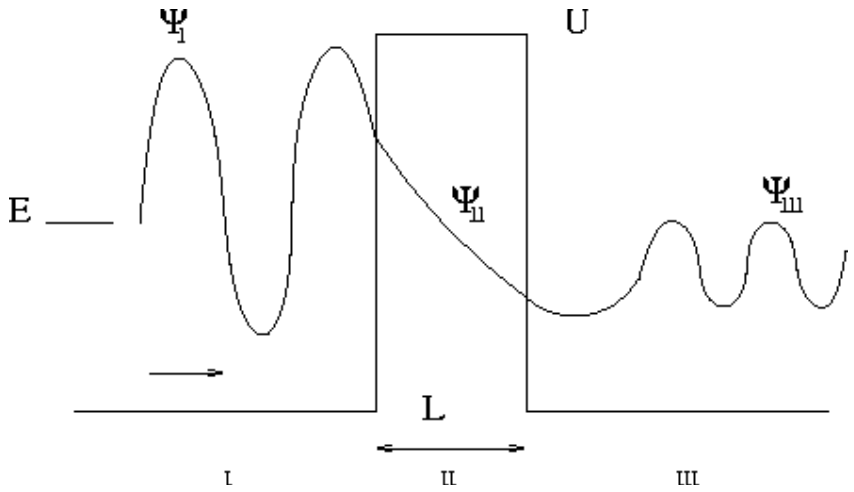
Kuantum mekaniğinin temel olaylarından biri de, bir taneciğin tünelleme yapmasıdır. Bir parçacık, sonlu yükseklik ve genişliğe sahip bir engele çarptığı zaman çok ilginç ve garip bir olay gerçekleşir. Yüksekliği U ve genişliği L olan bir dikdörtgensel engel üzerine *E* enerjili bir parçacığın geldiğini düşünelim. Burada parçacığın enerjisi *E*, engelin enerjisi U' dan küçük olsun. Klasik Newton mekaniğine göre, parçacığın engeli geçebilecek kadar yeterli enerjiye sahip olmadığı için engeli geçemeyecek ve engel tarafından geri yansıyacaktır. Fakat bu olayı kuantum mekaniğine göre ele alırsak durum farklı olacaktır. Kuantum mekaniğine göre bütün bölgeler, enerjisine bakmaksızın parçacık için kabul edilebilir bölgelerdir. Çünkü parçacığa bağlı madde dalgalarının genişliği her yerde sıfır değildir. Bu duruma ait tipik bir dalga biçimi Şekil 3.6'da çizilmiştir. Bu şekilde dalganın engelin içine girmesi ve ötesine geçmesi gösterilmiştir. Engelin solunda (I. bölge) ve sağ tarafında (III. Bölge) dalga fonksiyonları sinüzoidaldir ve engel içinde (II. Bölge) üstel azalan bir fonksiyonla yumuşakça bağlanılırlar. Parçacığın yerelleşme olasılığı $| \Psi |^2$ ile orantılı olduğundan, engelin ötesinde, III bölgede parçacığın bulunma olasılığının sıfır olmadığı sonucuna varılır. Engelin diğer tarafında parçacığın bulunma olasılığına tünelleme adı verilir [22]. Parçacık engelin iç tarafında asla gözlenmese de (çünkü enerjinin korunumu ihlal olur), bu bölgeden geçebilir ve III bölgesinde gözlenebilir. Parçacık engele nasıl girebilir ve orayı nasıl geçebilir? Eğer parçacık klasik tanecik gibi tasvir edilirse bu sorunun yanıtı, parçacık engele giremez ve geçemez şeklinde olacaktır. Sadece parçacığa bağlı *de Broglie* dalgası engeli geçebilir. O halde, bu alışılmadık olayı açıklamak için dalga parçacık olayını ikilemine başvurmak zorunda kalınır [21].

Tünelleme olasılığı, bir *T* geçme katsayısı ve bir *R* yansıma katsayısı ile açıklanabilir. Geçme katsayısı, parçacığın engelin öbür tarafına geçme olasılığını ölçer, hâlbuki yansıma katsayısı parçacığın engel tarafından yansıtılma olasılığını ölçer. Gelen parçacık, ya engelden yansıyacak ya da engeli geçeceğinden, $T + R = 1$ koşulu gerekli olmalıdır. $T << 1$ çok yüksek veya geniş bir engel olduğu zaman elde

edilen geçme katsayısı için yaklaşık bir ifade aşağıdaki gibi formül ize edilmiştir [21].

$$T \approx e^{-2KL} \tag{3.1}$$

$$K = \frac{\sqrt{2m(U-E)}}{\hbar} \tag{3.2}$$

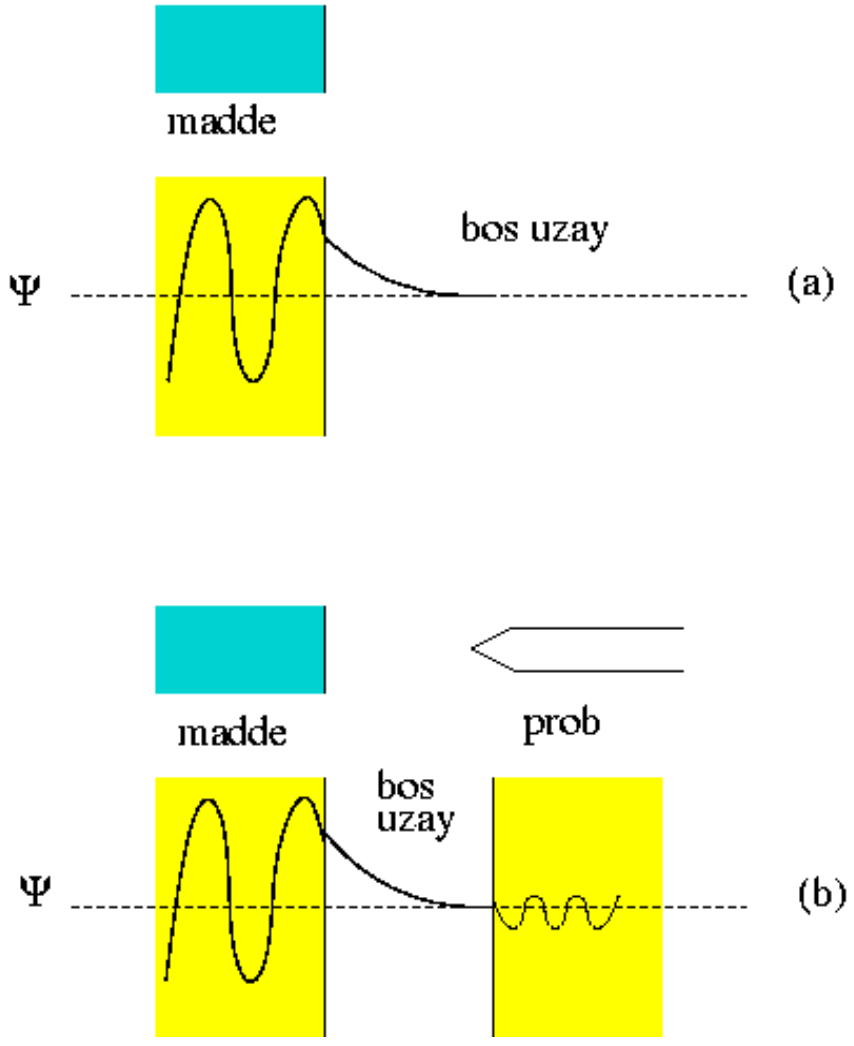


Şekil 3.6. U yükseklikli bir engel üzerine soldan gelen bir tanecik için dalga fonksiyonu

I ve III bölgelerinde sinüzoidal, II bölgesinde de üstel olarak azalmaktadır. Herhangi bir adi mikroskop için ayırma gücü, görüntü yapmak için kullanılan dalgaların dalga boylarıyla sınırlıdır. O halde, bir optik mikroskop, 2000 Å dan daha iyi bir ayırma gücüne sahip olamaz. Elektron mikroskopları 4 Å veya daha kısa dalga boylu elektron dalgaları kullanarak 2 Å luk bir ayırma gücüne sahip olabilirler. $\lambda = h/p$ *de Broglie* formülünden bu dalga boyunu verecek elektronun gerekli momentumu *3100 eV/c* olmalıdır. Bu momentum $v = p/m = 1.8 \times 10^6$ *m/s* lik bir elektron hızına karşılık gelir. Bu kadar yüksek hızda giden elektronlar numunenin içine girecekler ve bu yüzden tek tek yüzey atomları hakkında hiç bir bilgi vermeyeceklerdir [21].

STM' in çalışmasının arkasındaki temel fikir aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi çok basittir. Çok sivri uçlu iletken iğne incelenecek yüzeye götürülür. Bu iğne, yüzey

içindeki pozitif iyonlara çekildiği için, yüzeydeki bir elektron yüzey ve iğne arasındaki boş uzay içindeki bir elektronun sahip olacağından daha düşük bir toplam enerjiye sahip olur. Aynı şey iğnenin ucundaki elektronlar için de doğrudur. Klasik Newton mekaniğinde, elektronlar yüzey ve uç arasında hareket edemezler. Fakat elektronlar kuantum mekaniğine uydukları için yüzey ve uç arasındaki boşluk engelinden tünelleme yapabilirler [21].



Şekil 3.7. Uç ile numune arasındaki tünelleme a) İncelenecek numunenin yüzeyindeki bir elektronun dalga fonksiyonu. b) İletken bir probun sivri ucu yüzeyin yanına getirilir. Bir yüzey elektronunun, dalga fonksiyonu prob ucuna doğru girer ve böylece elektron, yüzeyden uca doğru tünelleme yapabilir [21].

STM mükemmel bir yanal çözünürlüğe sahiptir. Yani örneğin yan düzlemindeki özelliklerini de ayırabilir. Kullanılan uç çok ince olduğu için yaklaşık olarak *2 Å* genişlikli çok ince bir bölge içindeki yüzey elektronlarını inceleyebilir ve böylece çok ince ayrıntılar görülebilir [21].

Elektron tünellemeyi tanımlamanın diğer bir yolu zamana bağlı perturbasyon teoremini kullanan Bardeen Yaklaşımı'dır. E_Ψ 'deki Ψ durumundan E_X 'deki x durumuna geçiş olasılığı FERMİ kuralına göre;

$$W = \frac{2\pi}{\hbar}|M|^2 \delta(E_\psi - E_\chi) \tag{3.3}$$

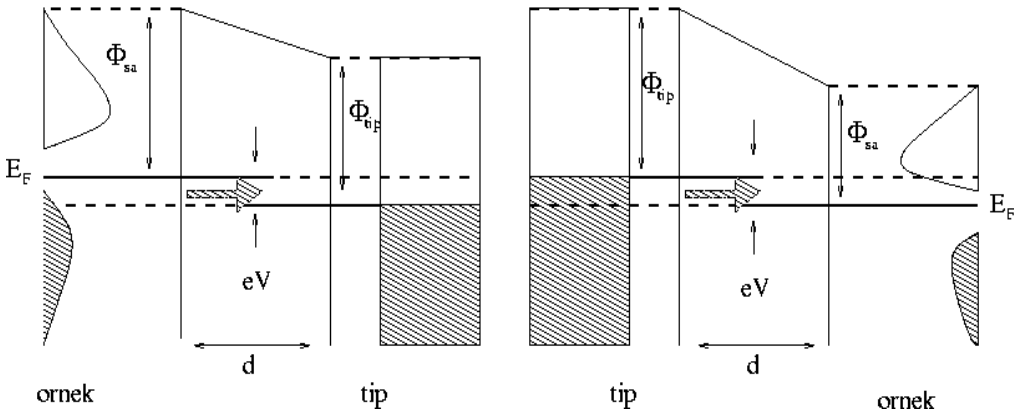
verilir. Tünelleme matris elemanı;

$$M = \frac{\hbar}{2m}\int_{z=z_0}(\chi^* \frac{\partial \psi}{\partial z} - \frac{\partial \chi^*}{\partial z})ds \tag{3.4}$$

şeklindedir. V voltajının uygulanması ve ortalama Fermi enerjisinin dağılımı ($kT << E_F$) adım fonksiyonu yaklaşımı kullanılması durumunda akım;

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar}\int_0^{eV} \rho_{sa}(E_F - eV + \varepsilon)\rho_{tip}(E_F + \varepsilon)|M|^2 d\varepsilon \tag{3.5}$$

olarak yazılabilir. Böylece akım, numune ve uç yerel durum yoğunluklarının bir kombinasyonu ile verilir ve tünelleme matris elemanı *M* tarafından dengelenir [20].



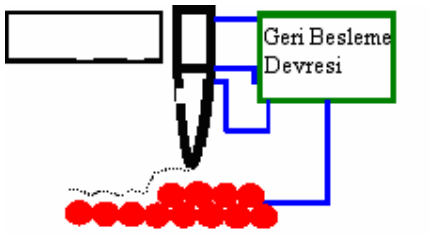
Şekil 3.8. Numune ucuna negatif ve pozitif potansiyel uygulanmış durumlar [20]

$\delta(E_\Psi - E_x)$ ' in anlamı şudur; bir elektron diğer bir elektrottaki aynı enerjili işgal edilmemiş yerlere tünelleme yapabilir. Numune ucunda negatif potansiyel olması durumunda yerleşik durumlar (işgal edilmiş durumlar) akıma yol açar. Aksine numune ucunda pozitif potansiyel olması durumunda numunenin yerleşik olmayan durumları daha önemlidir [20].

3.3.3 STM çalışma modları

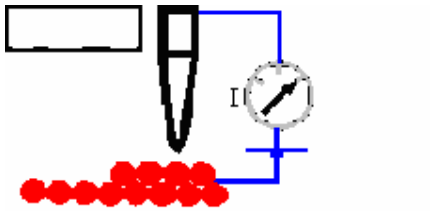
*Sabit akım modu***:** Uç geri besleme devresi kullanılarak akım sürekli sabit kalacak şekilde dikey olarak ayarlanır. Akım yerel durum yoğunluklarıyla orantılı olduğundan dolayı tarama esnasında uç, belirli bir sabit durum yoğunluğunu takip eder. Bu modda önce yüzey ve uç arasına uygun bir çalışma voltajı (2mV ile 2V) arası uygulanır. Ancak o zaman ölçülebilir. Tünelleme akımı elde etmek için uç, yüzeye yeteri kadar yaklaştırılır. Tünelleme akımı I ölçülürken, uç yüzeyi tarar. Bir geri besleme devresi tünelleme akımını sabit tutmak için dolayısıyla uç ve yüzey arasındaki *L* uzaklığını sabit hale getirmek için, ucun dikey konumu *Z*' yi değiştirir. (*X, Y*; yanal koordinatlar) yan konumuna göre *Z*'nin grafiği çizilerek yüzeyin bir resmi yani görüntüsü yapılır. Bu mod tarihsel olarak ilk kullanılmıştır. Atomik olarak düzgün olmayan yüzeyleri incelemek için kullanılabilme avantajına sahiptir. Bununla beraber geri besleme devresi taramanın son derece yavaş olarak yapılmasını gerektirir. Sonuç olarak taranan örnek, görüntü bozukluklarından kaçınmak için uzun

süre yerinde sabit tutulmalıdır [20].



Şekil 3.9. Sabit akım modu [20]

Sabit yükseklik modu: Bu modda ucun dikey pozisyonu değişmez. Bu mod atomik açıdan düz yüzeyler için uygundur. Akım monitörde izlenirken sabit voltajda ve hemen hemen sabit yükseklikte yüzeyi tarar. Sabit yükseklikli mod, atomsal düz yüzeyleri daha hızlı (sabit akım modundan 100 kez daha hızlı) taramayı sağlar. Çünkü uç yüzey üzerinde her noktada aşağı yukarı hareket etmek zorunda değildir [20].

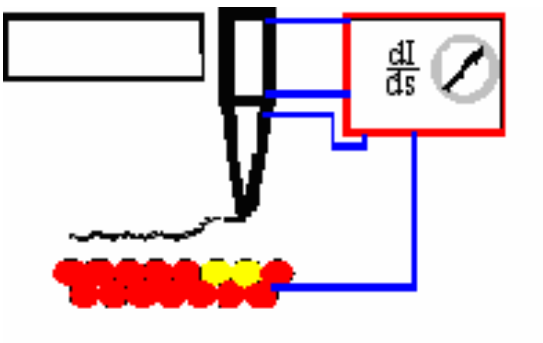


Şekil 3.10. Sabit yükseklik modu [20]

Bariyer yükseklik görüntüleme: Şimdiye kadar homojen yüzeyler ele alındı. Yüzeyde homojen olmayan bir yüzeye rastlanıldığında iş fonksiyonu homojen olmayacaktır. Bu yerel bariyer yüksekliğini değiştirebilir. Yukarıda tarif edilen iki modu kullanarak neredeyse bir delik ya da ek atom elde ederiz. Bu Eş. 3.6 daki sonucu ortaya çıkarır.

$$\frac{d(\ln I)}{ds} \alpha \sqrt{\Phi} \qquad (3.6)$$

Böylece iş fonksiyonu direk olarak geri beslemeye açık olduğundan dolayı akımı değiştirerek yapılabilen uç – numune mesafesinin değişiklikleriyle ölçülebilir [20].

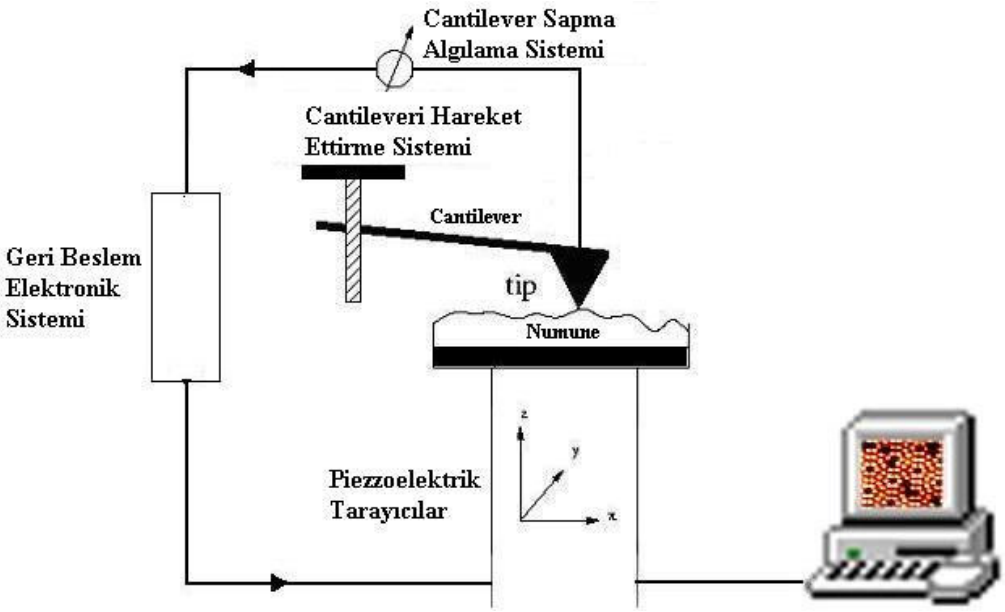


Şekil 3.11. Bariyer yükseklik görüntüleme [20]

3.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

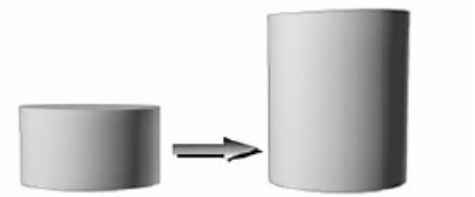
Atomik Kuvvet Mikroskobu, 1985' de Bining, Calvin Quate ve Cristopher Gerber tarafından icat edildi. Optik ve elektron mikroskoplarına kıyasla AFM' de örnek yüzeyin topografik görüntüsü çok hassas çözünürlükte elde edilebilir. AFM, numune yüzeyini angström mertebesinden 100 mikrona kadar ölçebilen bir metottur. Çok duyarlı bir iğnenin yüzeyi taramasıyla atomik seviyedeki kuvvetler de nanonewton hassasiyetinde ölçülebilir. AFM, elektronik, telekomünikasyon, biyoloji, kimya, otomotiv, uzay – havacılık ve enerji endüstrisi dallarında yüzey işleme ve malzeme problemlerinin çözülmesinde kullanılmaktadır. Hızla gelişen bir teknoloji için vazgeçilmez bir araçtır.

AFM' nin çalışma prensibi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Birkaç mikron uzunluğundaki keskin bir uç cantilever denilen bir yayın ucuna tutturulmuştur. Burada uç ve numune arasındaki etkileşim cantilever'ın sapmasına sebep olmaktadır. Kuvvet sensörü sayesinde de bu cantilever'daki sapmalar ölçülür ve görüntü ortaya çıkar [20].



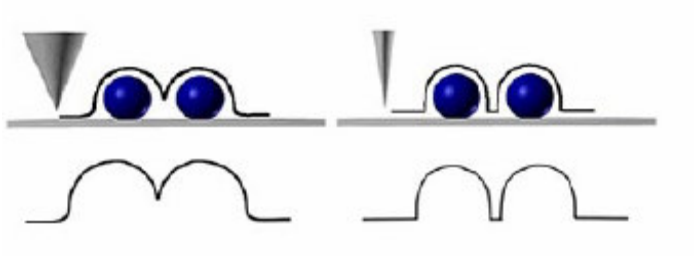
Şekil 3.12. Atomik kuvvet mikroskobunun şematik diyagramı

Mekanik hareket, bir elektromekaniksel aletle elektrik enerjisinden meydana gelmektedir. AFM' de yüzey üzerinde probun yer değiştirme hareketi piezoelektrik seramikler sayesinde olur. Probun yer değiştirmesi ve doğrultusu piezoelektrik materyalin tipine bağlıdır. Şekil 3.13'de elektrik potansiyeline maruz bırakılmış piezoelektrik bir materyalin yer değiştirmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Piezoelektrik diske voltaj uygulandığında disk'in genişlemesi [20]

Burada piezoelektrik malzemenin genişleme miktarı uygulanan voltaja ve piezo-malzemeye bağlıdır. AFM' de çözünürlük, taramada kullanılan probun geometrik şekline bağlıdır. Yüksek çözünürlük elde etmek için çok keskin bir proba ihtiyaç vardır. Şekil 3.14'de biri keskin diğeri keskin olmayan iki tane prob gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Biri keskin diğeri keskin olmayan iki tane prob. Sağ taraftaki prob kullanılarak çok yüksek çözünürlük elde edilir. Çünkü ölçümde kullanılan bu prob çok keskindir [20].

AFM' de dikey çözünürlüğü etkileyen faktörler arasında akustik sesler, zemin titreşimi ve termal titreşimler sayılabilir. Maksimum dikey çözünürlük elde etmek için, minimize edilmiş titreşim aletlerine ihtiyaç vardır.

Daha önce söylenildiği gibi numune yüzeyindeki atomlarla, prob üzerindeki atomlar arasındaki etkileşim sebebiyle bir mekanik kuvvet oluşur. Ancak prob ve numune arasındaki başka kuvvetlerde AFM görüntüsünde bir etkiye sahip olabilir. Bunlar, yüzey kirliliği, elektrostatik kuvvetler ve yüzey materyalinin özellikleridir. Yüzey kirliliği; numune yüzeyinde çevresel etkilerden dolayı oluşan kirlilik olabilir. AFM probu bu kirli yüzeyle etkileştiğinde, capilary kuvvetler probu yüzeye doğru çekebilir. Elektrostatik kuvvetler; yalıtkan yüzeyler, üzerlerinde yük biriktirebilirler. Bu yükler AFM' deki prob ve cantilever'ın üzerlerindeki yüklerle etkileşebilir. Bu kuvvetler tarama esnasında cantilever'ı saptıracak kadar güçlü olabilir. Yüzey materyal özellikleri; heterojen yüzeyler farklı bölgelerde sert ve pürüzlü olabilirler. Prob yüzeyi tararken, yüzeyle probun etkileşimi, bir bölgeden başka bir bölgeye hareket ederken değişebilir. Kuvvetteki bu değişiklikler, heterojen yüzeylerdeki materyaller arasındaki farklılık için yararlı olan bir zıtlık verebilir [20].

3.4.1 AFM için operasyon modları

*Topografi modları***:** Örnek taranırken, cantilever'ın sonundaki prob tarafından yüzeye sabit bir kuvvet uygulanır. AFM' deki cantilever'la kuvveti ölçme işi iki metotla yapılır. Bunlardan ilki cantilever'ın sapma miktarının doğrudan ölçülmesidir. İkinci

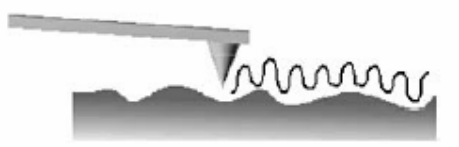
metot ise cantilever'ı titreştirmek ve titreşim özelliklerindeki değişiklikleri ölçmektir [20].

*Sapma modu***:** AFM' deki geri besleme kontrol ünitesi kullanılarak, sabit bir cantilever sapmasıyla örneği taramak mümkündür. Çünkü cantilever sapması, tarama esnasında yüzeye uygulanan sabit bir kuvvetle doğrudan orantılıdır. Bu tarama modu kontak mod olarak da adlandırılır. Bu modda yüzeydeki prob kuvveti bir nanonewton'dan daha azdır. Prob ile numune minimum kontak halindedir [20].



Şekil 3.15. AFM kontak mod: AFM kontak modda yüzey taranırken, prob doğrudan yüzey topografisini takip eder. Görüntü ölçülürken, prob kuvveti daima sabittir [20].

*Titreşim modu***:** AFM' deki cantilever bir piezoelektrik seramik kullanılarak titreştirilebilir. Titreşen cantilever yüzeyin yakınına geldiğinde, titreşen cantilever'ın genliği ve fazı değişebilir. Titreşim fazında ve genliğinde meydana gelen bu değişiklikler kolaylıkla ölçülebilir. Bu değişiklikler, yüzeydeki kuvvetle alakalıdır. Bu teknik, non - kontak mod olarak da adlandırılabilir. Bu modda ucun yüzeye dokunmaması çok önemlidir. Çünkü prob kırılabilir veya numune zarar görebilir [20].

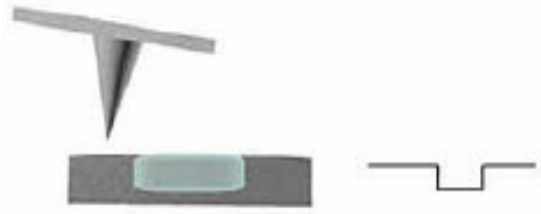


Şekil 3.16. AFM titreşim modu: Titreşim modunda prob titreşimindeki değişiklikler, numune yüzeyindeki prob kuvvetini belirlemek için izlenir. Geri besleme ünitesi, titreşim genliğini ve fazını sabit tutmak için kullanılır [20].

*Titreşim hassasiyet modları***:** Probla numune yüzeyinin etkileşmesi, numune yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Numune yüzeyindeki materyallerin etkileşimlerini ve hassasiyetlerini ölçmek mümkündür [20].

*Titreşim materyal hassasiyet modu***:** Titreşim modunda da anlatıldığı üzere, yüzeyi tarama esnasında AFM cantilever'ı, yüzeyle prob arasındaki kuvveti ölçmek için titreştirilebilir. Bu titreşimin fazındaki ve genliğindeki değişme miktarı, yüzeyin kimyasal bileşimine ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Homojen olmayan numunelerde, kimyasal bileşenler ve değişik mekaniksel bölgeler arasında bir zıtlık gözlenebilir. Bu modda, titreşim genliği bir geri besleme ünitesiyle sabitlenirse, materyallerdeki zıtlık titreşim fazının değişikliklerinin ölçülmesiyle gözlenebilir [20].

*Bükülme modu***:** AFM kontak modda, yüzeyin taranması esnasındaki cantilever'ın bükülme hareketini izlemek mümkündür.



Şekil 3.17. AFM bükülme modu: AFM' de cantilever bükülmesi ölçülür. Cantilever'ın bükülmesindeki değişiklikler, yüzeyin kimyasal bileşenindeki değişikliklerin göstergesidir [20].

Cantilever'ın bükülme miktarı yüzeyin kimyasal özelliklerindeki değişikliklerinin yanı sıra topografideki değişiklikler tarafından da kontrol edilir [20].

3.5. Çok Yüksek Vakum (UHV)

UHV ortamı yabancı atomlar içermez. Bu yüzden deney esnasında yüzeyde bulunan boş bağlar farklı atomlarla bağ yapamaz ve katı yüzeylerin yüzey bileşeni

değişmeden kalacaktır. Yani UHV ortamı yüzey çalışmaları için oldukça önemlidir.

UHV ortamına rağmen moleküler yoğunluk ($n = \frac{p}{k_B T}$) devamlı artar ve burada çok sayıda gaz molekülü vardır. Diğer yandan onların ortalama serbest yolu ($\lambda = \frac{f}{n\sigma^2}$) vakum çemberinin boyutlarından çok daha büyüktür. Bu, gaz molekülünün başka bir gaz molekülü ile karşılaşmadan önce pek çok kez içyapıdaki elementler veya çemberin duvarları ile çarpışacağı anlamına gelir [23].

Vakum basıncı ölçümünde kullanılan birimlerden en yaygın olarak kullanılanlar Torr (veya mmHg), Pascal (SI, 1 Pa = 1 N/m^2) ve milibar (1 mbar = 100 pa) dır. Bu birimler arasında1mbar = 100 Pa ve 1 mbar = 0.75 Torr şeklinde ilişki vardır [23].
UHV kullanılarak yapılan deneyler özel cihazlar gerektirir. Yüzey bilimi deneyleri için UHV sisteminde bir veya birkaç çember, pompa, vanalar, özel işlem elemanları (ısıtıcı, buharlaştırıcı, v.b parçalar), servis güç kaynağı, kontrol ünitesi ve bunun gibi yüzey analizlerine ihtiyaç vardır.

UHV sistem için kullanılan malzemeler, düşük buhar basıncına ve ısıtmalara dayanıklı olmak zorundadır. UHV' de kullanılan malzemenin nanmanyetik olması arzulanır. Düşük enerjili elektronların yayılımı kullanılarak yapılan yüzey analizleri için birçok aracın kullanılması gerekmektedir.

Vakum çemberi için kullanılan tüm parçalar 304 paslanmaz çelik olmalıdır. Bu çelik, yüzeyi çok parlatabilir, korozyona dirençli, düşük gaz geçirgenliği olan vakum materyallerine dönüştürülebilir. Çoğunlukla kullanılan diğer metaller ise bakır, aleminyum, Tantalyum, Tungsten ve Molibden gibi kolay işlenemeyen metallerdir. Tantalyum, Tungsten ve Molibden gibi metaller buharlaştırıcının ve örnek tutucunun ana malzemesi olarak kullanılır. Manyetik alandan korumak için ise μ - metalleri kullanılır [23].

UHV için çoğunlukla cam malzemeler de kullanılır. Cam malzemelerin bazıları

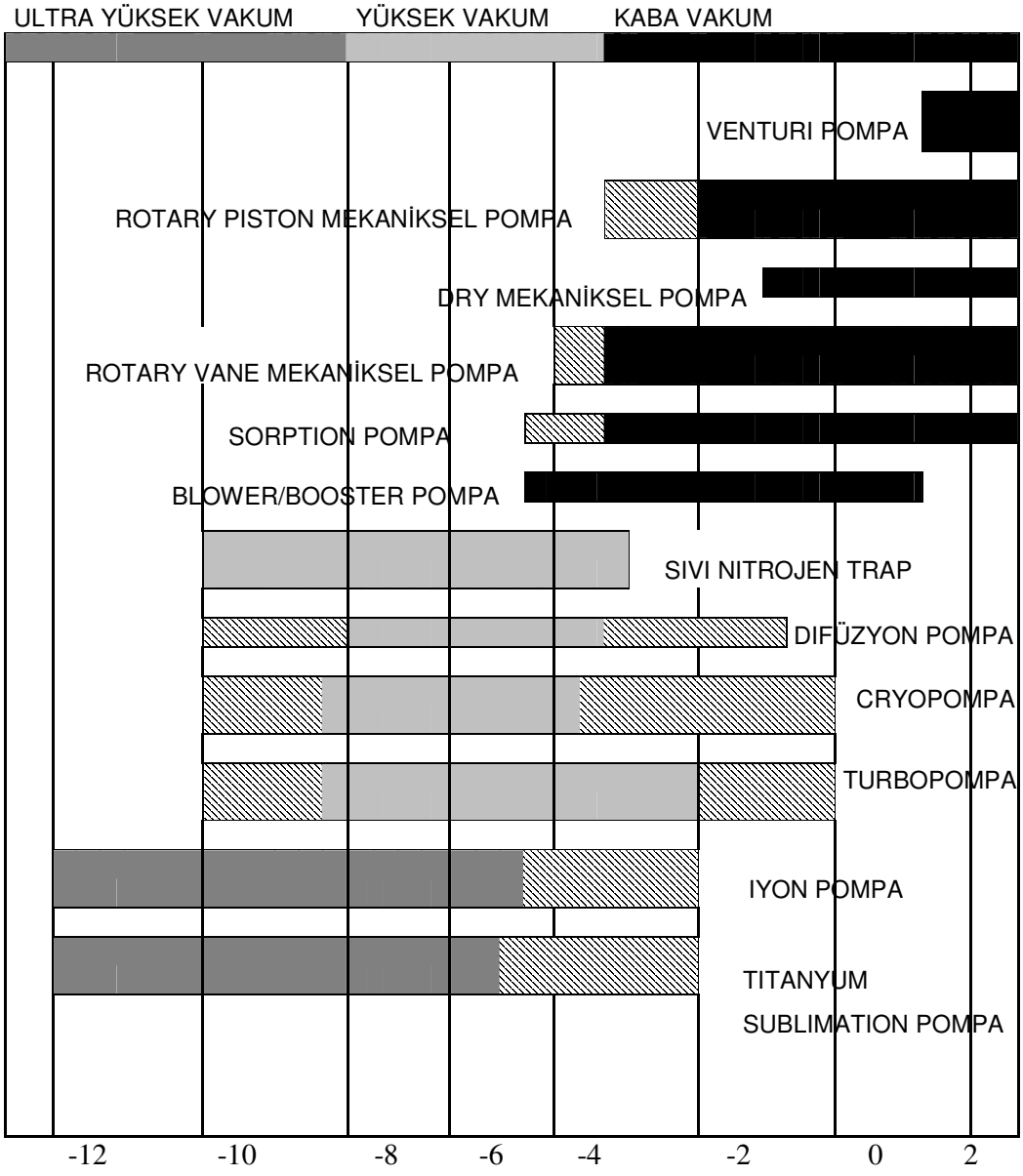
düşük gaz iletimi (örneğin He) ve iyi vakum karakteristiği gösterir. Fakat cam çabuk zarar görebilir. UHV' nin elektrik izolasyonu için değişik seramik çeşitleri kullanılır. Plastik ve kauçuk düşük vakum karakteristiği gösterdiğinden UHV için uygun değildir. Bunlar sadece sistemin uç noktalarında kullanılır. Bununla birlikte UHV sistemlerinde birçok yüksek sıcaklık plastikleri (örneğin Teflon, Silikon, Viton gibi) kullanılır.

304 paslanmaz çelik malzemeler maksimum 450 ^{o}C ye kadar pratik olarak kullanılabilir. Bunlar 12–24 saat süreyle *200 ^{o}C* de tutulabilir. Buna rağmen bazı UHV sistemlerinde piezzoseramik veya yüksek sıcaklık plastikleri (ki bunlar 150-250 ^{o}C ye ısıtılabilirler) kullanılabilir.

Sonuç olarak, UHV için her metal kullanılmaz ve kullanım şekline göre dikkatlice seçilmelidir. Çinko ve Kadminyum çelikler çember içinde kullanılmaz çünkü bunların gaz salım özellikleri vardır ve bu durum sistemde sıkıntı yaratır [23].

3.5.1 UHV pompalama sistemi

Vakum sisteminin amacı çember içinde vakum elde etmektir. Pompalama sisteminin ana parçaları: pompalar, vanalar ve göstergelerdir. UHV sistemleri için atmosfer basıncını (760 Tor) 10^{-10}-10^{-11} Tor seviyesinde olmalıdır Bu basınç değerine ulaşmak için pompalar kullanılır. Fakat bu büyüklüklere çıkmak için iki veya daha çok farklı pompaya ihtiyaç vardır. Bunlardan birisi Rotary Pompasıdır ki buna 'ilk pompalayıcı' denir. Diğeri de Cryosorption Pompa'sıdır. Bunları zenginleştirmek için ise İyon Pompası veya Turbo moleküler Pompa ile birlikte Titanyum Sublimation Pompa'ya ihtiyaç vardır. Bizim sistemimizde iyon Pompası, Titanyum Süblimation pompalar ve Rotary pompa kullanılır. Şekil 3.18'da vakum pompalarının basınç aralıkları verilmiştir. Burada basınç birimi tor olup 10' un üs katları şeklindedir [20].

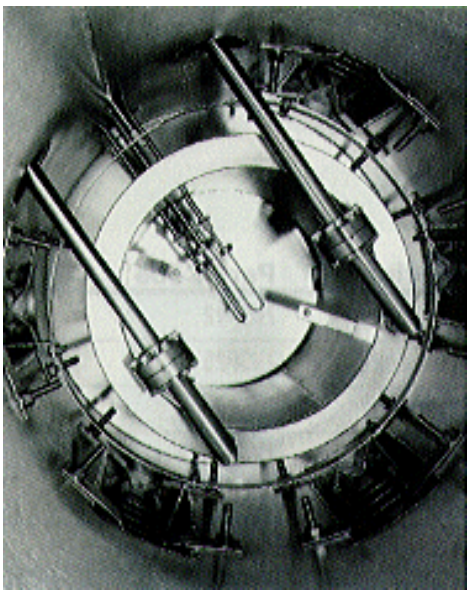


Şekil 3.18**.** Vakum pompalarının basınç aralıkları

3.5.2 Titanyum sublimation pompa (TSP)

Titanyum sublimation pompa, Resim 3.1'de görüldüğü gibi titanyum ve molidenyum alaşımından yapılmış flemanları içerisinde bulundurur. Bu flemanlar U şeklinde bükülmüş bir biçimdedir ve düşük elektrik direncine sahip bir taşıyıcıya monte edilmişlerdir. Dışarıdaki bir güç kaynağından sağlanan yüksek bir akım bu

flemanların içerisinden geçirilir ve bu flemanlar kırmızıya yakın bir renk alırlar. Bu sıcaklıkta titanyum doğrudan flemanlardan süblümleşir. (Titanyum buharı sadece sıvı haldeyken süblümleşir). Bu süblümleşmiş buhar odacık duvarlarını kaplar [20].



Resim 3.1. Tipik bir TSP görüntüsü [20]

Bu sistemde bulunan odacık duvarının, düşük buhar basıncında aktif gaz molekülleriyle titanyum filminin rahat bir şekilde reaksiyona girebilmesi için geniş bir yüzey alanına sahip olması gerekir. İlk başta titanyum tabaka reaksiyona geçer geçmez, TSP' den elde edilen buharlaşmanın tekrarlanmasıyla yerine yenisi yerleştirilmelidir. Bu zaman aralığında buharlaşmanın yeniden oluşması sistemin basıncına bağlıdır ve çizelgede gösterilen çeşitli gazlar yeniden pompalanmaya başlar. Bu basınç 10^{-5} mbar' dan 10^{-11} mbar'a 12 saatte gelir. Titanyum filminin pompalama hızını artırmak için sıvılaşan odacık duvarının sıvı nitrojenle soğutulması gerekir. Çizelge 3.1'de oda sıcaklıklarında ve -196 $°C$ sıcaklıkta bir yüzey için pompalama hızları verilmiştir [20].

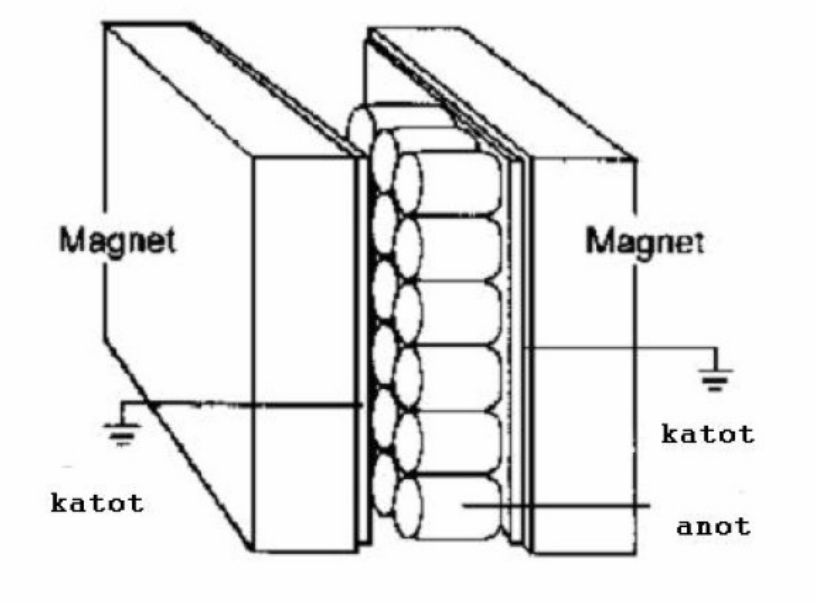
Çizelge 3.1. Titanyum filmi pompalama hızına 1 s^{-1} cm^{-2} de sıcaklığın etkisi [20]

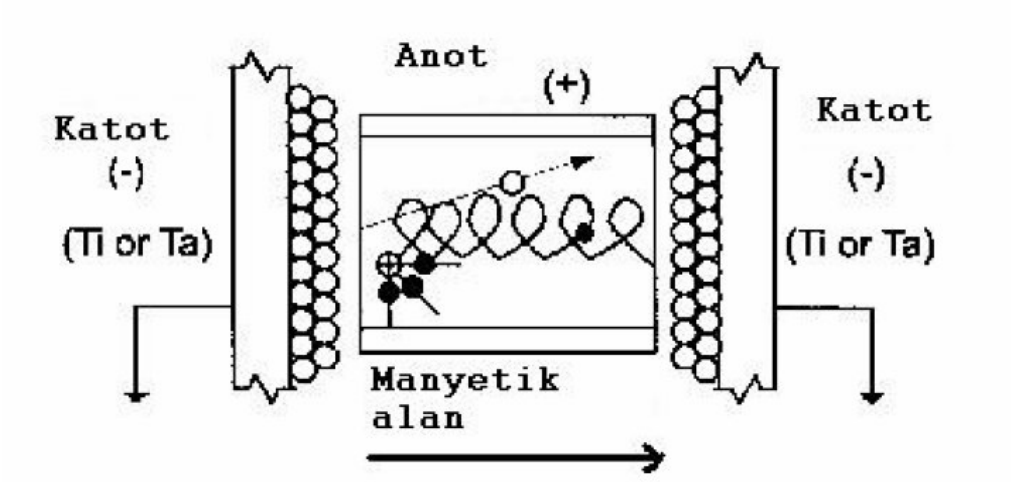
GAZ TİPLERİ	H_2	N_2	O_2	CO	CO_2	H_2O	CH_2	
+ 20 °C	3	4	9	9	8	3	0	0
— 196 °C	10	10	11	11	9	14	0	0

3.5.3 İyon pompası

Vakum sistemindeki basınç, sorption pompası tarafından 10^{-3} tor' a düşürüldüğünde devreye iyon pompası girer. İyon pompası sorption pompası gibi hareketli parçalar içermez. Bu yüzden yağ ve yağlayıcı maddelerde bulundurmaz. İyon pompası UHV için çok temiz ve mükemmel bir pompadır. Aynı zamanda sistemdeki basınç düştüğünde akım da düşer. Bunun iki yararı vardır. Birincisi pompa çok az güç çekeceği için oldukça ekonomiktir. İkincisi ise akımın azalması basınca bağlı olduğundan basınçölçeri olarak da kullanılabilir. Böylece ayrı bir basınçölçerine gerek kalmaz [20].

Pompalama işlemi Şekil 3.19'da görüldüğü gibi iyon pompasının anot ve katoduna yüksek bir voltaj uygulanmasıyla başlar. Elektronlar anoda doğru hızlandırılır ve manyetik alan sebebiyle anot' da spiral bir yol izlemeye zorlanır. Bu da elektronların daha fazla alanı süpürmesini sağlar. Aynı zamanda elektronların gaz molekülleriyle çarpışma olasılığını artıracak şekilde bir etki gösterir. Çarpışmada oluşan pozitif iyonlar aktif titanyum tabakasına çarparlar. İyonlar katot materyali ile birleşirler ve daha fazla katot materyali ortaya çıkarırlar. Bu olaylar anot yüzeyinde son bulur. Bu işlem aktif gaz molekülleriyle birleşmiş olan anodun yüzeyindeki kimyasal olarak aktif katot materyalini sürekli yeniden doldurur ve bunları sistemden pompalar. Nitrojen, oksijen, hidrojen gibi kimyasal olarak aktif durumda bulunan gazların kaldırılması işlemine "gettering" denir [20].





Şekil 3.19. İyon pompasının şematik gösterimi [20]

Soy gazlar farklı bir şekilde ele alınırlar. Bu gazlar pompa yüzeyinde gizlenirler. Bu olay gazların katot içinde iyonlaştığı ve pompalandıkları zaman meydana gelir. Gazlar birkaç tabakaya etki ederler ve kendilerini katot tabakasına gömerler. Başka iyonlar yüzeye çarptığında bu gazlar yeniden atılabilirler. Böylece bu tür gazların az bulunduğu yerlerde toplanırlar [20].

3.5.4 Cryosorption pompa

Cryosorption pompa çok temiz bir pompadır. Aynı zamanda ucuz ve basit bir sisteme sahiptir. Ancak titreşimler ciddi problemlere yol açabilir. Bu pompa aynı zamanda çok yüksek pompalama hızına sahiptir. Sistemdeki basıncı 760 tor'dan 10^{-3} tor'a kadar düşürmek için kullanılır. Bu pompada soğutma işlemi için sıvı nitrojen kullanılır [20].

3.5.5 Turbomoleküler pompa

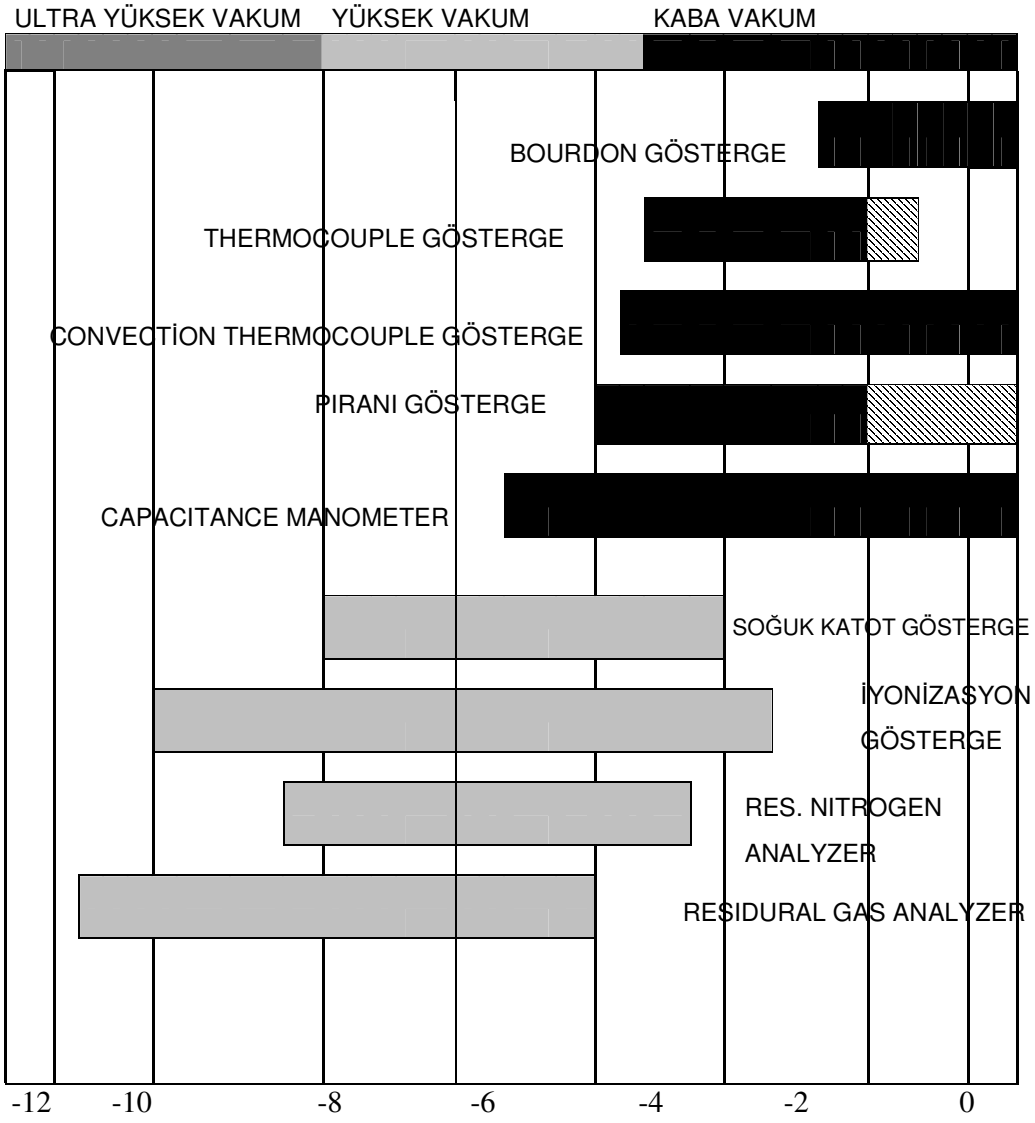
Çok temiz mekaniksel sıkıştırma pompalarıdır. Çok düşük UHV temel basıncına ulaşılması zordur. Bu pompa 10^{-3} ile 10^{-10} tor aralığında çalışır. Bu pompada gerekli olan periyodik bakım pahalı olabilir [20].

3.5.6 Rotary pompa

Rotary pompa düşük fiyatlı, dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Aynı zamanda yüksek pompalama hızına sahiptir. Yağ geri akışı kontrol edilmelidir. Bu pompa atmosfer basıncı olan 760 tor'dan 10^{-3} tor' a çıkmak için kullanılır [20].

3.5.7 Göstergeler

Vakum ve basınç ölçümünü gösteren cihazlardır. Bu göstergeler çok hassas cihazlar olup mekanik sarsıntıdan zarar görebilirler. Şekil 3.20'de basınç aralıklarına göre göstergeler verilmiştir Burada basınç birimi tor olup değerler 10'un üsleri şeklindedir [20].



Şekil 3.20. Göstergelerin basınç aralıkları

Bourdon gösterge: Pozitif basıncı ve vakumu ölçmek için kullanılır. Vakum ölçüm duyarlılığı yaklaşık 0,1 tor' dur. Gazların kimyasal oluşumu için tamamen duyarsızdır [20].

Thermocouple gösterge: Bu göstergeler 1 mtor' dan 1000 mtor' a kadar sıcaklığı ölçebilirler. Bu gösterge çok dayanıklı, güvenilir ve ucuzdur [20].

*Pirani gösterge***:** Bu göstergeler çok gelişmiş bir kontrol sistemini gerektirir. Thermocouple göstergelerden daha doğru ve daha hızlı gösterir. Ayrıca Pirani göstergeler gaz bileşenleri için duyarlıdır [20].

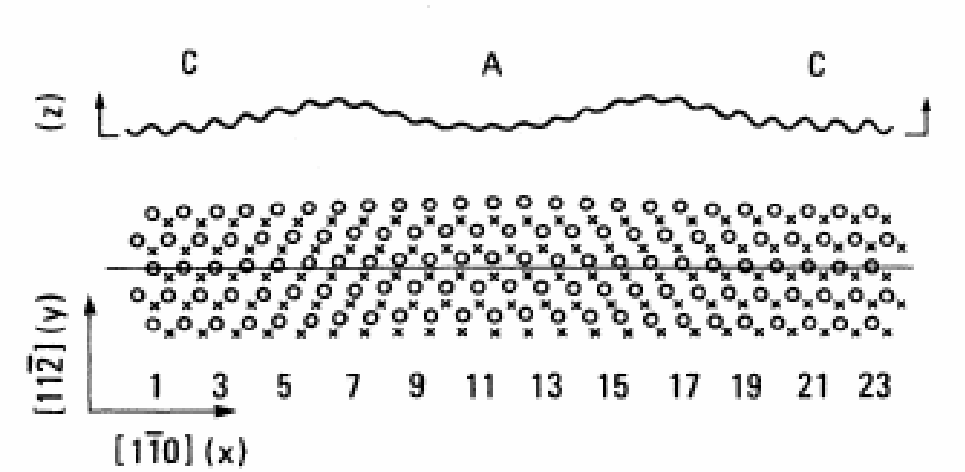
*Kapasitans manometresi***:** Bu manometre geri besleme devresinde ve reaktör süreci içindeki basıncı ölçmek için kullanılır. Tek bir kapasitans manometresi, sadece 10^{-3} - 10^{-4} tor aralığındaki basıncı okuyabilir. Kapasitans manometresi son derece doğru ölçüm yapar. Hata payı % 1 oranındadır [20].

*Sıcak flamen iyonizasyon gösterge***:** Bu göstergeler 10^{-3} - 10^{-11} tor aralığında çalışabilir. Ayarlandığında yaklaşık % 10 hata payı vardır [20].

*Soğuk flamen iyonizasyon gösterge***:** Bu göstergeler, 10^{-2} - 10^{-8} tor aralığında çalışır. Sıcak flamen iyon göstergelerden daha dayanıklıdır fakat doğruluk payı onlardan düşüktür. Hata payı yaklaşık % 50 civarındadır [20].

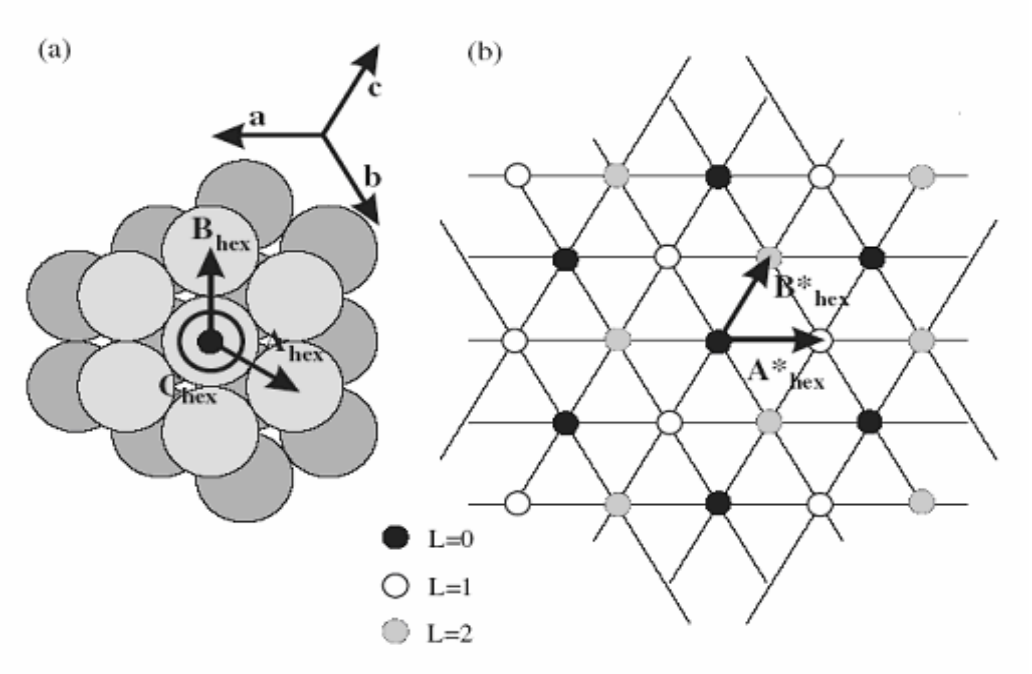
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Altın fcc yapıda bir metal olmasına rağmen (111) yüzeyi sıkı paket olarak yeniden yapılanma gösterir. Bu LEED, RHEED, TEM, HAS ve STM ile gösterilmiştir [24-28]. Au (111) yüzeyinin yeniden yapılanması Şekil 4.1'de model olarak gösterilmiştir. Bu şekilde X'lar ikinci tabakadaki atomların pozisyonlarını, O ise en üst tabakadaki yeniden yapılanmış atomların pozisyonlarını gösterir. C ile işaretlenmiş olan bölgeler fcc (ABC) yapıyı A ile işaretlenmiş olan da hcp (ABA) yapıyı gösterir [27].



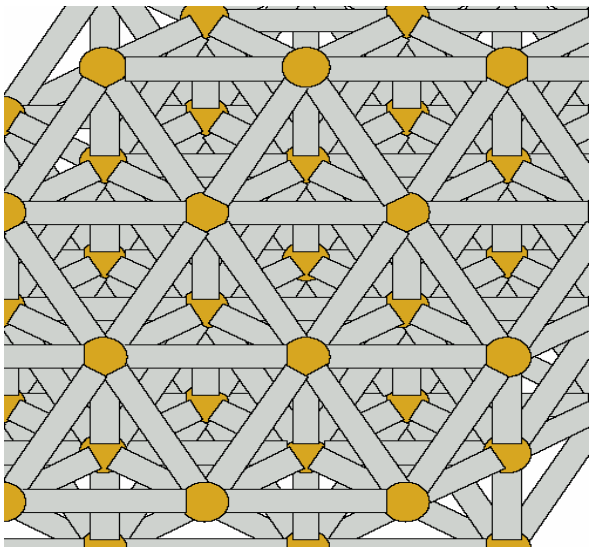
Şekil 4.1 Au (111) yüzeyinin yeniden yapılanmasının modeli

Au(111) yüzeyinin örgü vektörleri Şekil 4.2 de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Şekilde bütün kristalografik yönler (hkl) a=0.408 nm örgü parametresiyle fcc altın kristalinin tanımlandığı geleneksel kübik koordinat sisteminde tanımlanmıştır. Şekil 4.2 (a) hegzagonal koordinat sisteminde gerçek uzayda çizilen görüntüyü vermektedir. Şekil 4.2 (b) ise ters uzaydaki görüntüsüdür. Burada $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri düzlemde, $\vec{C}$ ise [111] düzlemine dik yöndedir ($A = B =$ a / $\sqrt{2}$ = 0.288 nm).



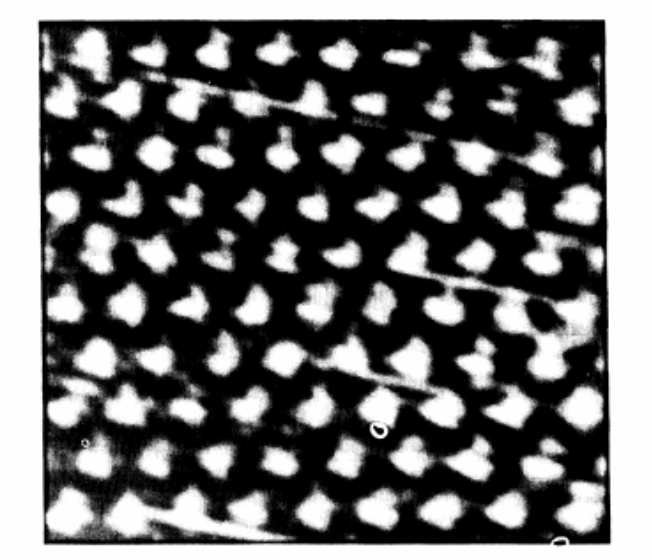
Şekil 4.2. Gerçek ve ters uzayda Au(111) yüzeyinin örgü vektörleri.

Ayrıca Au(111) yüzeyi için atomik koordinatları kullanarak minimol programıyla elde edilen görüntü Şekil 4.3 de verildi. Şekilde iki atom arasındaki uzaklık 0.288 nm' dir.



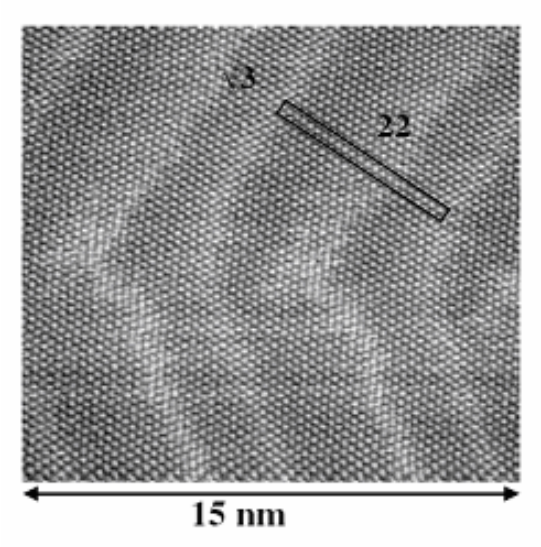
Şekil 4.3. Au(111) yüzeyinin minimol programıyla elde edilen görüntüsü.

Ayrıca Resim 4.1'de 2,5 × 2,5 nm alanda daha önce Au (111) yüzeyinden başka araştırmacılar tarafından alınmış bir STM görüntüsü verilmiştir [29].



Resim 4.1. Au (111) yüzeyinin STM görüntüsü

Diğer bir çalışmada Au(111) yüzeyinin $22 \times \sqrt{3}$ şeklinde yeniden yapılanması STM ile görüntülenmiş [30] ve bu Resim 4.2 deki gibi elde edilmiştir.



Resim 4.2. Au(111) yüzeyinin $22 \times \sqrt{3}$ şeklinde yeniden yapılanması [30]

$22 \times \sqrt{3}$ yeniden yapılanmasında V faz veya balıksırtı yapılanması olarak adlandırılan, ikinci bir yeniden yapılanma deseni gözlenir[31,32,33]. Burada periyodiklik yaklaşık 300 Å dır. Bu yapılanma 300 K' den 1250 K' e kadar herhangi bir sıcaklıkta varolduğu görüldü. Altının erime sıcaklığı 1337 K 'dir [34,35]. Fakat 865 K' den yukarda balık sırtı yapılanması uzun menzilli düzenini kaybeder ve birinci sıra faz geçişi 880 K'de tamamlanır.

Bu bölümde ilk önce STM in ana elemanlarından olan uç'un hazırlanma yöntemlerinden bahsedilerek laboratuarda W (tungsten) tel kullanılarak elde edilen ucun optik mikroskop görüntüleri verildi. Daha sonra Au (111) yüzeyinin AFM ve STM görüntüleri alınarak tartışıldı.

4.1. Uç Hazırlama

Ölçümlerde kullanmak üzere STM ana elemanı olan ucu Omicron firmasının ürettiği bir düzenek ile hazırladık. STM uçları normalde yüksek saf metal tellerin kesilen parçalarından yapılır. Atomik çözünürlük için uçları üretmenin birçok farklı yolu vardır. Başlangıçta basit olarak mekaniksel yolla yapılan STM uçları fabrikasyon olarak üretimde kullanılan standart metod, elektrokimyasal yoldur. Ölçümlerde kullanmak üzere STM ana elemanı olan ucu Omicron firmasının ürettiği Resim 4.3'de görülen bir set ile hazırladık.



Resim 4.3. Uç aşındırma sistemi

Farklı uç materyalleri için farklı elektrokimyasal metotları gerekir. Uç şekilleri elektrokimyasal parametrelerinin değişiminden etkilenir. Metal teli aşındırma yapmadan önce ısıl işlem uygulanabilir. Fakat polikristal tungsten teli atomik çözünürlük uçlarından elde edilir.

Tungsten uçları elde ederken KOH veya NaOH çözeltileri kullanılır. Tungsten tel parçaları kesilerek ya da kırılarak elde edilir. Kesilen tel parçaları dikey olarak aşındırma çözeltisine daldırılır. Tungsten teli çok serttir. Kesen alete zarar verebilir. Isıl işlem uygulanmış tungsten tel kırılgandır. Tungsten telinin ısıl işlemi için, elektrokimyasal işlemden önce 2700 °K de 10^{-4} mbar vakum altında yaklaşık 1 dakika tutulmalıdır [36].

Elektrokimyasal işlemden sonra uçları saf su içinde temizlenir. Daha sonra uç optik bir mikroskop kullanarak kontrol edilir. Hazırlanan STM uçları taşıyıcı tüplerin içine konur. Ucu tüpün içine yerleştirmek için cımbız kullanılır. Uç aşındırma materyallerinin sınıflandırılması Çizelge 4.1'de verildi [36].

Çizelge 4.1. Uç aşındırma materyallerinin sınıflandırılması

Uç Cinsi	Dc Solution	DC Lamella
Polycyrt W	Evet	Evet
W(100)	Evet	Evet
W (111)	Evet	Evet
PtIr	Hayır	Hayır
Pt	Hayır	Hayır
Ir	Hayır	Hayır
Au	Hayır	Hayır

Uçlar üç şekilde sınıflandırılır. Bunlar: tel parçalarını direk olarak tutan çıplak tel (mikro stm ve needle sensor için uygun), vt stm ctstm ve lsstm için uygun uyarlayıcıyla tutulan uç, stm1 ve afm /stm için uygun uyarlayıcıyla tutulan uç olarak sınıflandırılır.

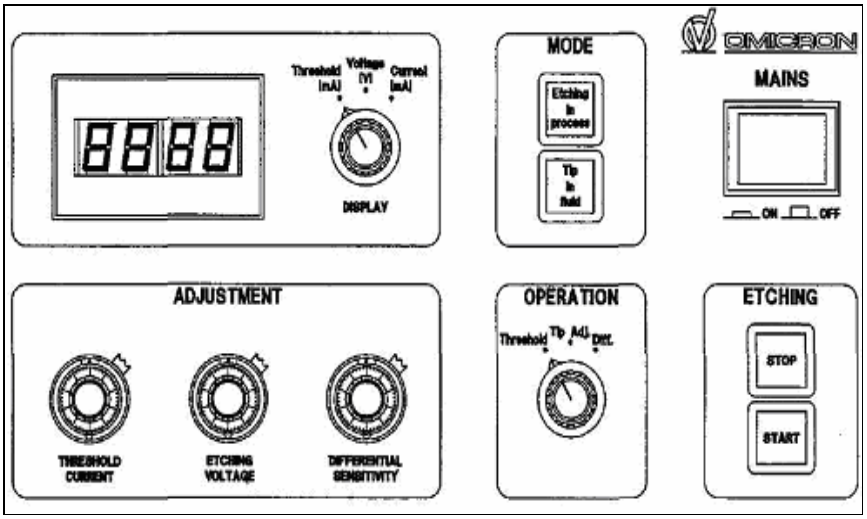
Yıkama suyu veya aşındırma sıvısıyla uç tutucusunu ıslatmamak gerekir. Uç boruları içinde sıvı kalırsa vakumun bozulmasına sebep olabilir.

Tungsten uç için iki farklı aşındırma metodu vardır. Bu metotların avantajları ve dezavantajları aşağıdaki Çizelge 4.2'de listelenmiştir [36].

Çizelge 4.2. Aşındırma metodunun avantaj ve dezavantajları

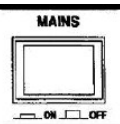
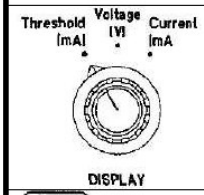
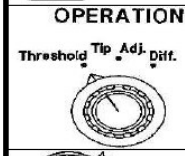
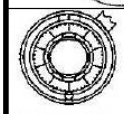
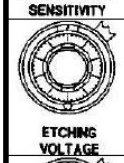
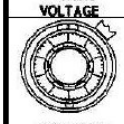
	DC Solution	DC Lamella
Avantaj	Denetim gözetim gerektirmez. 80% ideal uç şekli elde edilir.	İdeal uç şekli elde edilir.
Dezavantaj	Oda sıcaklığında 1 gün bekletilir.	Sürekli denetim gerektirir.

Uç aşındırma kontrol ünitesi iki farklı metodu kullanmak üzere tasarlanmıştır. Resim 4.3'de görülen setin ön kontrol paneli Şekil 4.4'de verilmiştir. Kontrol panelindeki anahtarlar ve düğmelerin anlamları ise Çizelge 4.3'te verildi [36].



Şekil 4.4. Kontrol panelin şematik diagramı

Çizelge 4.3. Kontrol panelindeki anahtarlar, düğmeler

	Açma kapama düğmesi
	Etching sürecinin başladığını gösterir. Etching sırasında yeşil yanar. (diff. veya eşik modunda)
	Tip ayarlama modunda tel yüzeye dokunduğu zaman sarı ışık yanar.
	Dijital gösterge: Eşik akımı için etching voltajı ve akımını gösterir.
	Etching voltajı, akımı ve eşik akımı buradan seçilir.
	Etching başlatmak için START'a basılır.
	Durdurmak için STOP'a basılır.
	Üçlü durum anahtarı
	Potansiyometre Çalışması için OPERATİON anahtarından Diff seçilir. (10 kademeli ayar anahtarı)
	Etching voltaj anahtarı: Tungsten teli ile halka elektrodu arasındaki voltajı 0 ile10 volt arasında ayarlar.
	Eşik akımı: 0–25 mA arasında ayarlar. Çalışması için OPERATİON anahtarından THRESHOLD seçilmelidir.

4.2 Kesme metodu

Yüksek kalitede uç elde etmek için, uç parçası sıvı içine düştüğünde aşındırma voltajı hemen kesilmelidir. Aşındırma işlemi için iki farklı metot uygulanır [36].

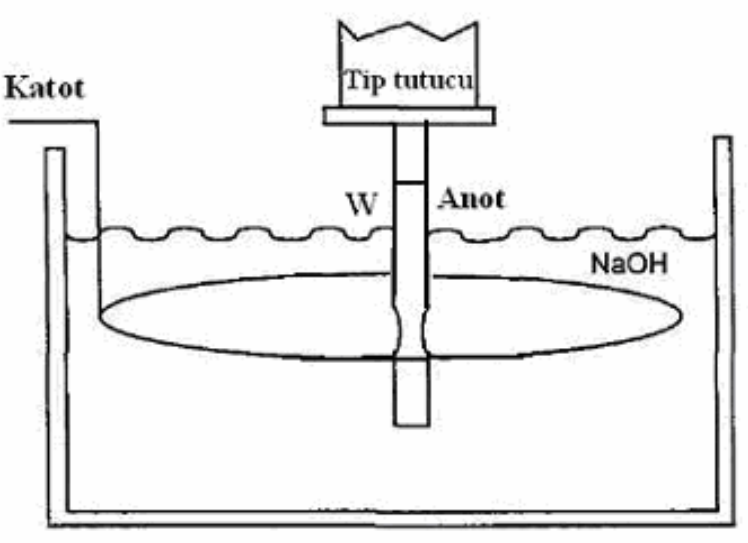
Eşik Kesme: Eşik Kesme metodunda minimum akım kullanılır ve aşındırma akımı ile bu değer karşılaştırılır. Aşındırma akımı eşik akımına eşit ya da altında ise aşındırma voltajı kapanır. Kullanımı oldukça kolaydır ve bu metot DC Aşındırma Solisyonu için kullanılır. Fakat küçük akım değişikleri olmasına rağmen Lamella Aşındırma için uygun değildir.

Farklı Kesme: Farklı Kesme metodu ΔI akım değişimleri için kullanılır ve bu değere zıt olan bütün akım değişimlerini karşılaştırır; bu akım değişimleri ΔI'dan daha fazlaysa aşındırma voltajı kesilir. Bu metot, çok küçük akım değişimleri için kullanılır. Akımın zamanından önce kesilmesine sebep olur. Her iki aşındırma işlemi için de kullanılabilir. Fakat sadece Lamella yöntemi için uygulanır.

4.2.1 DC solution (Eşik Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturma

Aşağıdaki yöntemler uygulanarak DC Solution (Eşik Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturulur.

- 100 ml saf suya 20 gr NaOH tableti yavaş bir şekilde eklenir ve karıştırılır. NaOH çözelti 24 saat oda sıcaklığında tamamen çözünmelidir.
- Bu çözelti geniş ağızlı cam bir kaba aktarılır ve katot çözeltinin içine yerleştirilir.
- 0,38 mm çapında tungsten teli kullanılır. Tünel uçları içinde uzunluk ve sıvının içine giren kısım 2 mm olacak şekilde kesilir.
- Çözelti sıvısında iletimi sağlayacak kablolar takılır.
- Tungsten teli tutucuyla tutturulur, aşındırma sıvısına daldırılır, vidalar sabitlenir.
- Kontrol ünitesi açılır ve aşındırma voltajı ayarlanır.
- Operation seçeneğinden Tip Adjust seçilerek, tungsten teli halka elektrodun ortasına gelecek şekilde yerleştirilir. Sıvının içine 2 mm indirilir. Ucun yeteri kadar ıslak olduğundan emin olmak için uç iki kere döndürülür.
- Tel sıvıya daldırıldığında sinyal gelir ve Tip in Fluid düğmesi (lambası) yanar.



Şekil 4.5. Aşındırma çözeltisinin sistematik diyagramı

Çizelge 4.4'e bakılarak eşik akımı eşik anahtarından ayarlanır. Eğer bu akım eşik voltajına ulaşırsa kesilir ve aşındırma süreci durur. Otomatik kapama düğmesi sesli ve görüntülü sinyal verir.

- *Operation* selektöründen *threshold* seçilir, *etching* düğmesinden *START*'a basılır.
- Aşındırma işlemi başladığında katotda ve Tungsten telinde H_2 üretilmeye başlanır.
- Artık parça düştüğünde (ucun keskin noktası oluştuğunda) akım kesilir.
- Uç en az 10 kez saf suya daldırılıp çıkartılır.
- 500 kez büyütülmüş mikroskopla ucun şekli kontrol edilir. Uygun kalite için uç simetrik V şeklinde olmalıdır.
- Kullanmadan önce saf suyla uçlar temizlenir; NaOH kristalleri ucun yüzeyinde kalabilir. Vakumda uç işlemlerinde örneğin alan emisyonunda veya vakum tavlamasında (çoğu kez 1000 °K sıcaktıkta ve $p<10^{-4}$ mbar da) kullanılabilir [36].

Çizelge 4.4**.** Polikristal tungsten uç için uç aşındırma parametreleri.

Çözelti	20 g NaOH 100 ml H_2O saf su
Halka elektrot	Paslanmaz çelik, çapı yaklaşık 36 mm kalınlığı 0,5mm den 1,00 mm
U	3V… 10V DC
l_{ini}	≈ 50 mA to 70 mA derinliğe bağlı olarak
I_{fin}	≈ 20 mA
Eşik	≈ 3 mA den 5mA kadar
Duyarlılık	≈ 6,0
Süre	NaOH konsantrasyonuna, aşındırma voltajına ve telin çapına bağlı olarak 5 dak. ile 10 dak. arası sürer.

4.2.2. DC aşındırma solüsyon (Farklı Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturma

Aşağıdaki yöntemler uygulanarak DC Aşındırma solüsyon (Farklı Kesme) yöntemiyle tünel uç oluşturulur.

- 100 ml saf suya 20gr NaOH tableti yavaş bir şekilde eklenir ve karıştırılır. NaOH tablet 24 saatte oda sıcaklığında tamamen çözünmelidir.
- Bu çözelti geniş ağızlı cam bir kaba aktarılır ve katot çözeltinin içine yerleştirilir.
- 0,38 mm çapında tungsten teli kullanılır, tünel uçları için uzunluk ve sıvının içine giren kısım 2 mm olacak şekilde kesilir.
- Çözelti sıvısında iletimi sağlayacak kablolar takılır.
- Tungsten teli tutucuyla tutturulur, aşındırma sıvısına daldırılır ve vidaları sabitlenir.
- *Kontrol ünitesi* açılır ve *aşındırma voltajı* ayarlanır.
- *Operation* selektöründen *Tip Adjust* seçilir, tungsten teli halka elektrodun ortasına gelecek şekilde yerleştirilir. Sıvının içine 2mm indirilir. Ucun yeteri kadar ıslak olduğundan emin olmak için uç iki kere döndürülür.
- Tel sıvıya daldırıldığında sinyal gelir ve *Tip in Fluid* düğmesi (lambası) yanar.
- Mod panelinden '*Diff*' seçilir. Aşındırma için gerekli olan (Δl) akım değeri

Çizelge 4.4'ten alınır. Eğer aşındırma voltajı bu değere ulaşırsa kesilir. Aşındırma voltajının duyarlılığı çok ise uç düşebilir, fakat akım kesilmeyebilir. Aşındırma voltajının duyarlılığı çok yüksekse uç aşındırma olmasa bile aşındırma işlemi durdurulabilir. Kapama düğmesi sesli ve görüntülü sinyal verir.

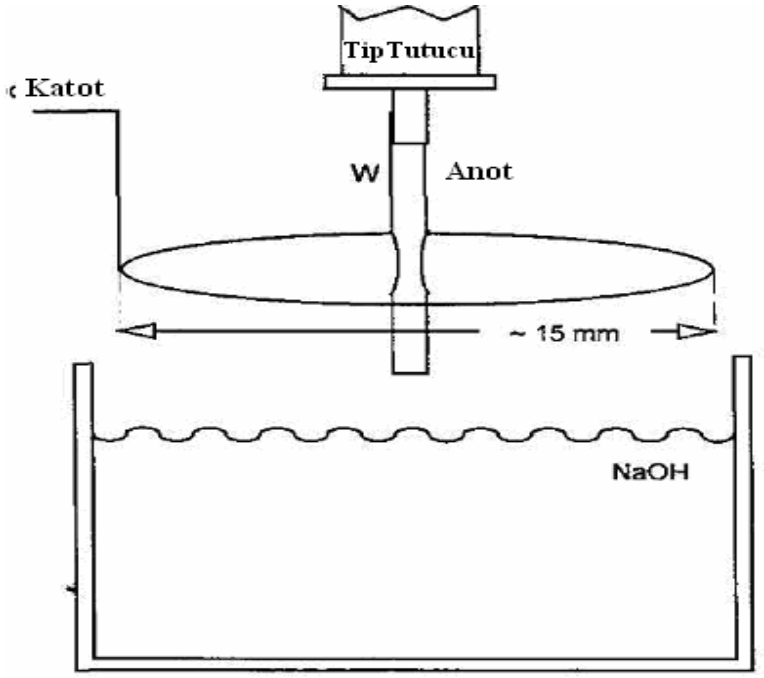
- *START* düğmesine basılır.
- Aşındırma işlemi başladığında katotda ve Tungsten telinde H_2 üretilmeye başlanır.
- Artık parça düştüğünde (ucun keskin noktası oluştuğunda) akım kesilir.
- En az 10 kez uç saf suya daldırılıp çıkartılır.
- 500 kez büyütülmüş mikroskopla ucun şekli kontrol edilir. Uygun kalite için uç simetrik 'V' şeklinde olmalıdır.
- Ucun kurutma kabında veya vakumlu ortamda saklanmalıdır.
- Kullanmadan önce saf suyla uçlar temizlenir; aksi halde NaOH kristalleri ucun yüzeyinde kalabilir. Vakumda uç işlemlerinde örneğin alan emisyonunda veya vakum tavlamasında (çoğu kez 1000 °K sıcaktıkta ve $p<10^{-4}$ mbar da) gerekirse kullanılabilir [36].

4.3 DC Aşındırma "Lamella" Yöntemiyle Tünel Uç Oluşturma

Bu yöntem için ise aşağıdaki işlemler uygulanır.

- 100 ml saf suya 8 gr NaOH tableti yavaş yavaş eklenir ve karıştırılır. NaOH tablet 24 saatte oda sıcaklığında tamamen çözünmelidir.
- Bu çözelti geniş ağızlı cam bir kaba aktarılır ve katot çözeltinin içine yerleştirilir.
- 0,38 mm bir tungsten teli kullanılır. Tünel uçlar için sıvının içine giren kısım 5 mm olacak şekilde kesilir.
- Çözelti sıvısında iletimi sağlayacak kablolar takılır.
- Tungsten teli tutucuyla tutturulur, aşındırma sıvısına daldırılır ve vidalar sabitlenir.
- Kontrol ünitesi açılır ve aşındırma voltajı ayarlanır.
- Elektrot çözeltiye daldırılır.

• Tungsten tel halka elektrodun ortasına bırakılır, uç halkanın 5 mm aşağısına indirilir.



Şekil 4.6. Lamella yönteminin sistematik diagramı

• *Mod* panelinden *Diff* seçilir. Aşındırma için gerekli olan (Δl) akım değeri Çizelge 4.5'dan seçilir. Eğer aşındırma voltajı bu değere ulaşırsa kesilir. Aşındırma voltajının duyarlılığı çok ise uç düşebilir, fakat akım kesilmeyebilir. Aşındırma voltajının duyarlılığı çok yüksekse uç aşındırma olmasa bile aşındırma işlemi durdurulabilir. Kapama düğmesi sesli ve görüntülü sinyal verir.

• *Mod* düğmesinden *Diff*'i seçilir, *Start'* a basılır.

• Aşındırma boyunca parçaların sarsılmaması gerekir.

• Uç çabuk kırılıyorsa bu halka elektrodun tam ıslanmadığını gösterir. Bunun için halka elektrodu tamamen ıslatıp tekrar denenmelidir.

• Artık parça düşünce akım kesilir.

• Uç en az 10 kez saf suya daldırılıp çıkartılır.

• 500 kez büyütülmüş mikroskopla uç şeklinin uygun olup olmadığı kontrol edilir. Uygun kalite için uç simetrik 'V' şeklinde olmalıdır.

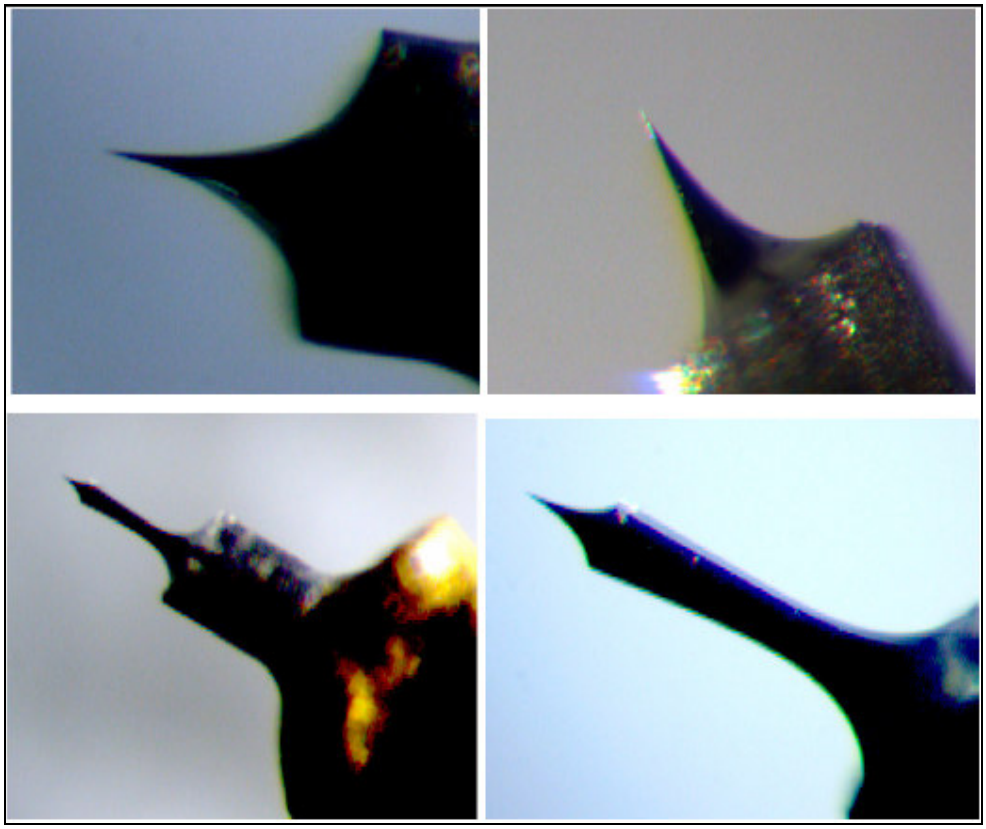
- Uçlar kurutma kabında veya vakumlu ortamda saklanır.
- Kullanmadan önce saf suyla uçlar temizlenir; yoksa NaOH kristalleri uç yüzeyinde kalabilir.

Vakumda uç işlemlerinde örneğin alan emisyonunda veya vakum tavlamasında (çoğu kez 1000 °K sıcaktıkta ve $p<10^{-4}$ mbar da) gerekirse kullanılabilir [36].

Çizelge 4.5. Lamella yöntemiyle polikristal tungsten uç için uç aşındırma parametreleri.

Çözelti	8 g NaOH 100 ml H_2O saf su
Halka elektrot	Altın halka çapı yaklaşık 15 mm, kalınlığı 0,5mm
U	≈ 4 V DC
l_{ini}	≈ 20 mA
I_{fin}	≈ 2 mA
Duyarlılık	≈ 6,0
Süre	NaOH konsantrasyonuna, aşındırma voltajına ve telin çapına bağlı olarak 5 dak. ile 10 dak. arası sürer.

Sonuç olarak OMICRON VT STM'de kullanılmak üzere Tungsten uç hazırlandı. Bunun için yukarıda bahsedilen metotlardan DC Aşındırma Solisyonu (Eşik Kesme) kullanıldı. Daha sonra elde edilen uçlardan en iyi olan iki tanesinin optik mikroskopta 500 kez büyütülen görüntüleri Resim 4.4' de gösterilmiştir.



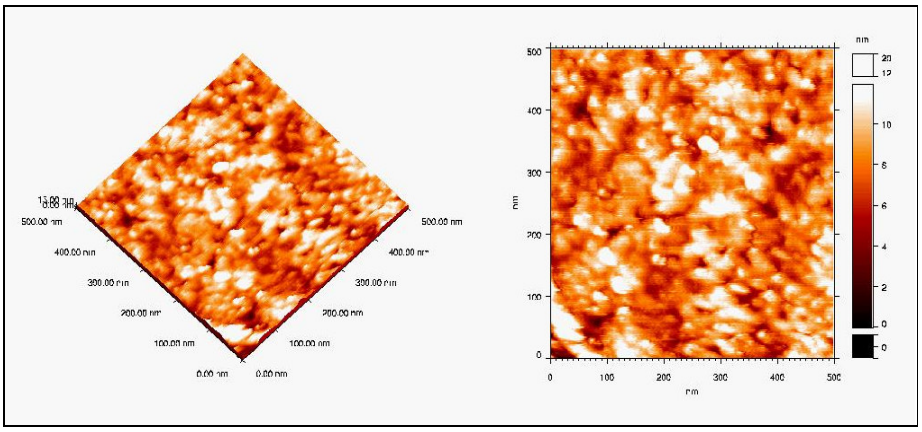
Resim 4.4. Yapılan uçların optik mikroskoptaki görüntüleri

4.4. Numune Hazırlama

Bu çalışmada, Omicron firması tarafından bize sağlanan Si üzerine büyütülen Au(111) numunesi kullanıldı. İlk önce üzerindeki kirlilikten kurtulmak için numune %99,8 saflıkta $CH_3CH(OH)CH_3$ (izopropil alkol) ile temizlendi. Numune cihaz içine yerleştirilip sistem vakuma alındı. İçerideki basıncın $2x10^{-10}$ mbar olduğu gözlendi. Daha sonra cihaz içinde numune birkaç saat direnç vasıtasıyla ısıtıldı. Bu aynı zamanda numune tutucusunun da temizlenmesini sağladı. Numune soğumaya bırakıldı ve ölçümler alındı.

4.5. Ölçümler ve Tartışma

Bu çalışmada, STM ölçümlerine geçilmeden önce yüzeyin ne kadar pürüzsüz olduğunu gözlemlemek için (500 x 500 nm)' lik bir alanda AFM ölçümü yapıldı ve Resim 4.5'de verildi. Ölçülen pürüzlülük parametresi (rms) (0,082 nm) olarak bulundu. Elde edilen bu ölçüme dayanarak yüzeyin oldukça düz olduğu sonucuna varıldı.



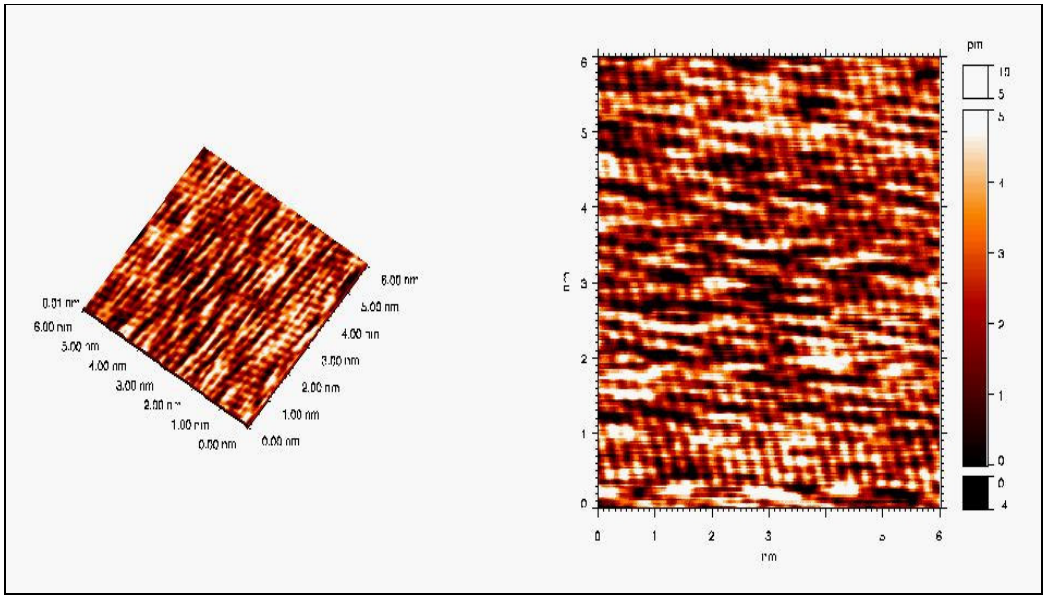
Resim 4.5. Au (111) yüzeyinin AFM görüntüsü

AFM ölçümünden sonra oda sıcaklığında STM ölçümleri yapıldı. STM ölçüm parametreleri Çizelge 4.6'de verildi.

Çizelge 4.6. STM ölçüm parametreleri

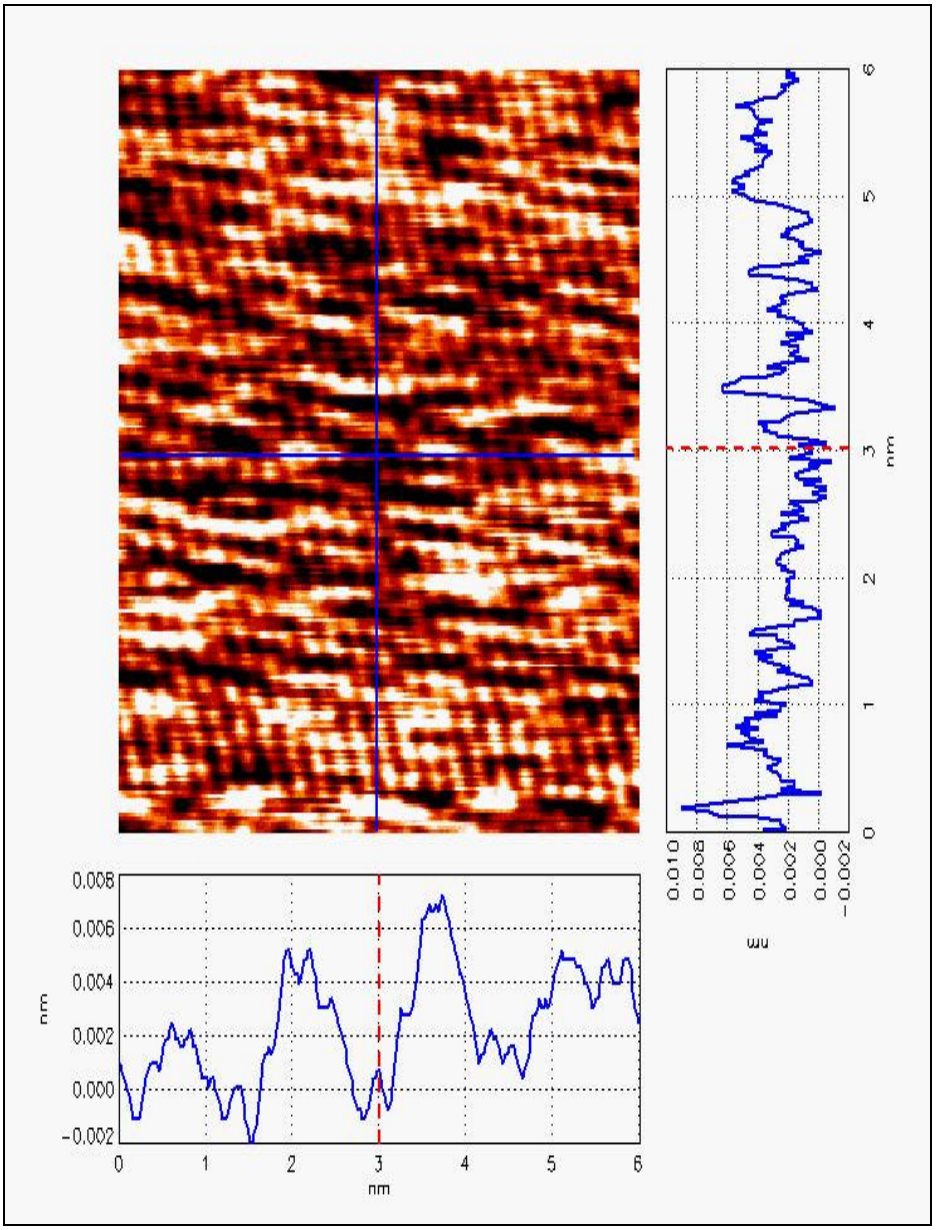
Boşluk Gerilimi (V)	Geri Besleme Akımı (nA)	Döngü Kazancı	Tarama Hızı (nm/S)	Pürüzlülük Parametresi rms (nm)
0,421	0,372	2,96	50.0000	0,001

Oda sıcaklığında yaklaşık 6X6 nm' lik yüzeyde elde edilen görüntüler hem iki hem de üç boyutta Resim 4.6'de verildi. Bu yüzeyler için ayrıca ölçülen pürüzlülük parametreleride Çizelge 4.6'de verildi. Ayrıca seçilen alan için enine ve boyuna yükseltilerin nm cinsinden değerlerinin grafikleri de Resim 4.7'da verildi.



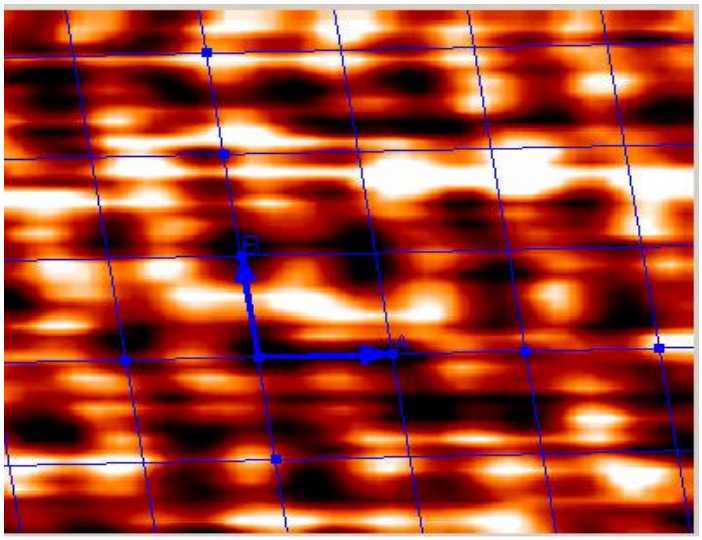
Resim 4.6. Oda sıcaklığında alınan iki ve üç boyutlu STM görüntüleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi en yüksek ile en alçak pik arasındaki maksimum mesafe ≅ 0,01 nm kadardır. Buda bize seçilen bu alanda herhangi bir teras oluşmadığını gösterir, eğer teras yoksa altın yüzeyi hep aynı yapıda şekillenmiştir.

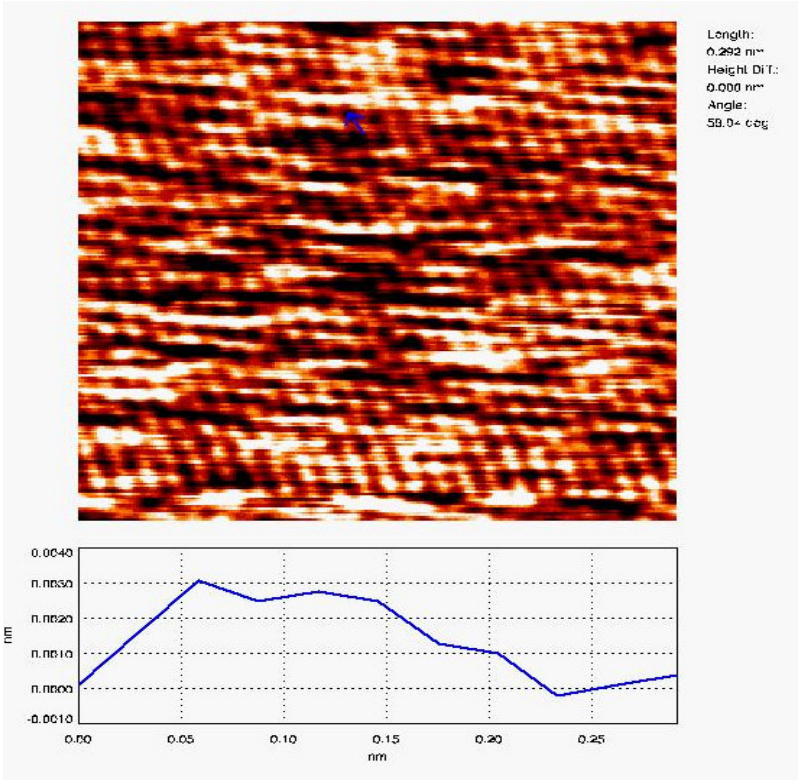


Resim 4.7. Enine ve boyuna yükseltiler.

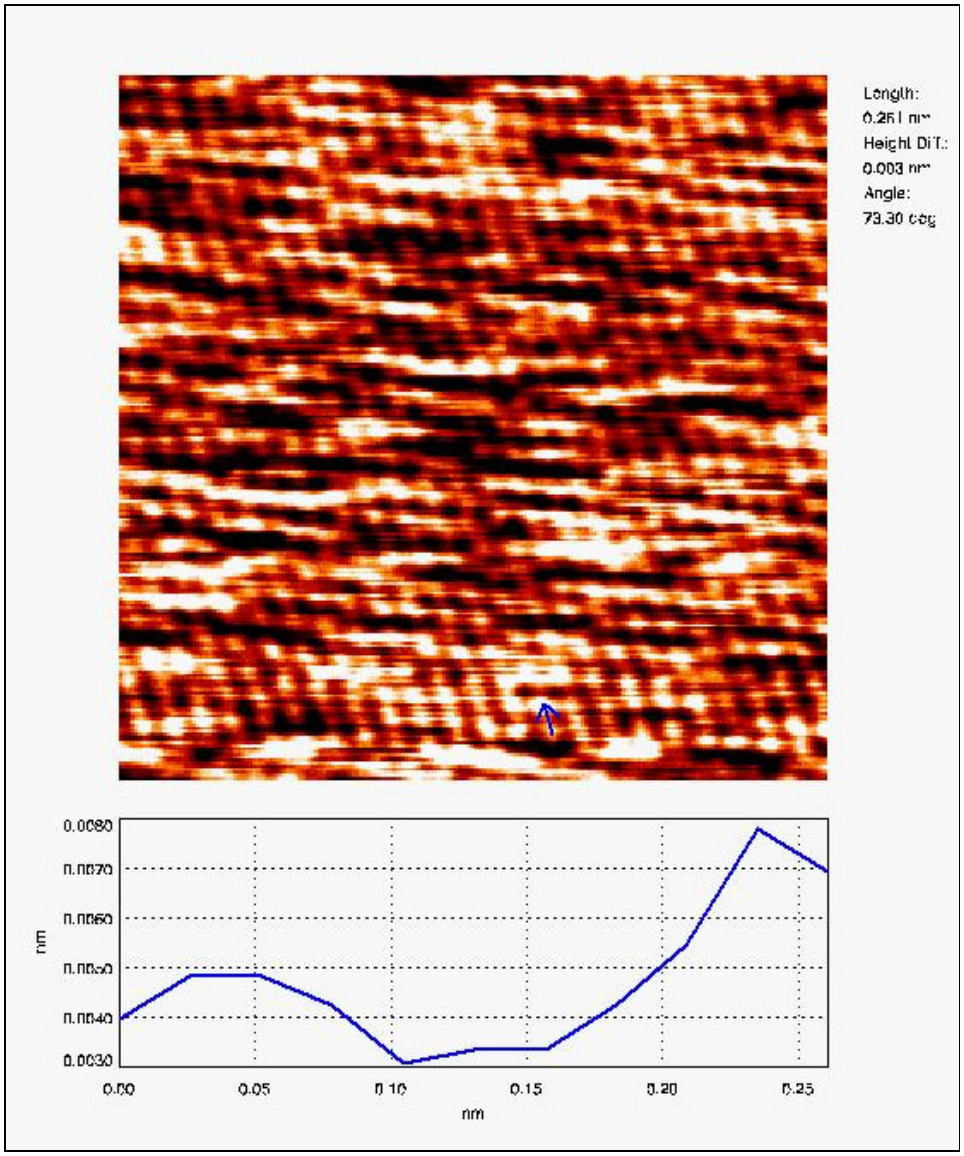
a)



b)



Resim 4.8. a)1.5×1.5 nm'lik alanda, boşluklar arasındaki mesafe b)6×6 nm'lik alanda, boşluklar arasındaki mesafe



Resim 4.9. Au(111) atomları arasındaki mesafe

Oda sıcaklığında elde edilen görüntülerin daha önceki çalışmalardaki görüntülerle uyuştuğu görüldü. Ayrıca Au'ın örgü sabitini bulmak için çeşitli analizler yapıldı. İlk önce Resim 4.9' de görülen, Au atomları arasındaki uzaklıklar ölçüldü. Ölçülen atomlar arası mesafe 0,261 nm dir. Bu altın için iyi bilinen 0,288 nm'lik mesafe ile uyuşmaktadır [29]. Hallmark ve arkadaşlarının [29] yaptığı ve Resim 4.1' de de görüntüsü verilen çalışmada bu mesafe 0,28 nm olarak ölçülmüştür. Bizim

ölçümlerimizin de bu çalışmaya yakın sonuçlar verdiği görüldü. Bu tezde vakum ortamında STM kullanılarak Si alt taş üzerine büyütülmüş Au (111) yüzeyinden alınan görüntülerde metal atomlarının sıkı paketlenmiş yapıda şekillendiği sonucuna varıldı.

Altın yüzeyler alttaş olarak yaygın biçimde kullanıldığından bu tezde Au(111) yüzeyi deneysel olarak incelendi. Bu yüzeyler 1 ve 100 nm arasında periyodiktir ve makroskobik numunelerin tamamı üzerinde tutarlıdır. Genelde altın kristal yüzeyleri birçok araştırmacı tarafından çalışılmasına rağmen Au(111) kristal yüzeyi üzerine açık sorular hala vardır. İlerideki çalışmalarımızda bu materyalin teraslı şeklinde yapılanan yüzeyini STM ile incelemeyi hedeflemekteyiz.

KAYNAKLAR

1. Santoro, G., Scavdolo, S., and Tosatti, E., "Charge-density waves and surface Mott insulators for adlayer structures on semiconductors: Extended Hubbard modeling" , ***Phys. Rev.B ,*** 59 (3): 1891-1901 (1999).

2. Weitering, H. H., Chen, J., DiNardo, N. J. and Plummer, E. W., "Electron correlation, metallization,and Fermi level pinning at ultrathin K/Si(111) interfaces***" , Phys. Rev.B ,*** 48 (11): 1819-1835 (1993).

3. Weitering, H. H., Shi, X., Jonson, P. D., Chen, J., DiNardo, N. J. and Kempa, K. "Mott Insulating Ground State on a Triangular Surface Lattice***" , Phys. Rev. Lett. ,*** 78 (7): 1331-1334 (1997).

4. Cappinelli, J. M., Weitering, H. H., Bartkowiak, M., Stumpf, R., and Plummer, E. W., "Surface Charge Ordering Transition: a Phase of SnyGe(111)" , ***Phys. Rev. Lett. ,*** 79 (15): 2859-2862 (1997).

5. Avila, J., Mascaraque, A., Michel, E. G., Asensio, M. C., LeLay, G., Ortega, J., Pérez, R., and Flores, F., "Dynamical Fluctuations as the Origin of a Surface Phase Transition in SnyGe(111)" , ***Phys. Rev. Lett. ,*** 82 (2): 442-445 (1999).

6. Erwin, S. C., and Weitering, H. H., "Theory of the "Honeycomb Chain-Channel" Reconstruction of *M*/Si(111)-(3 x 1)" , ***Phys. Rev. Lett. ,*** 81 (11): 2296-2299 (1998).

7. Hill, I. G. and McLean, A: B., "Strongly Anisotropic Band Dispersion of an Image State Located above Metallic Nanowires" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 82 (10): 2155-2158 (1999).

8. Losio, R., Altmann, K. N. and Himpsel, F. J., "Continuous Transition from Two- to One-Dimensional States in Si(111)-(5 x 2)–Au***" , Phys. Rev. Lett.*** , 85 (4): 808-811 (2000).

9. Losio, R., Altmann, K. N., Kirakosian, A., Lin, J. L., Petrovykh, D. Y. and Himpsel, F. J., "Band Splitting for Si(557)-Au: Is It Spin-Charge Separation?" , ***Phys. Rev. Lett. ,*** 86 (20): 4632-4635 (2001).

10. Hill, G. I. and McLean, A. B., "Role of Si adatoms in the Si (111)-Au (5x2) quasi-one-dimensional system" , ***Phys. Rev.B*** , 55 (23): 15664-15668 (1997).

11. Karlsson, C. J., Landemark, E., Johansson, L. S. O. and Uhrberg, R. I. G., "Experimental surface-state band structure of the Si (111)-($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)-Au surface" , ***Phys. Rev.B*** , 42 (15): 9546-9551 (1990).

12. Berman, L. E., BattermanB. W. and Blakely, J. M., "Structure of submonolayer gold on silicon (111) from x-ray standing-wave triangulation" , ***Phys. Rev.B ,*** 38 (8): 5397-5405 (1988).

13. Shibata, M., Sumita, I. and Nakajima, M. "Structure and width of Au-adsorbed narrow Si(111) terraces" , ***Phys. Rev.B ,*** 57 (3): 1626-1630 (1998).

14. Markas, L. D. and Plass, R., "Atomic structure of si (111)-(5x2)-Au from high resolution electron microscopy and heavy-atom holograpy" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 75 (11): 2172-2175 (1995).

15. O'Mahony, J. D. and McGilp, J. F., "Nucleation and evolution of the Au-induced 5x2 structure on vicinal Si(111)" , ***Phys. Rev.B*** , 49 (4): 2527-2535 (1994).

16. Durlu, T. N., "Katıhal fiziğine giriş", ***Bilim Yayınları,*** Ankara, 1-15 (1992).

17. Kittel, C., "Katıhal fiziğine giriş" Karaoğlu, B., ***Güven Yayınları***, İstanbul, 1-25, 381-390, (1996).

18. Hook, J. R., Hall, H. E., "Katıhal fiziği" Köksal, F., Dinçer, M., Altuntaş, M., Başaran, E., ***Literatür Yayınları***, İstanbul, 1 - 32 (1999).

19. Chrisman, J. R., "Fundamentals of Solid State Physic" ***Jhon Wiley & Sons. İnc.***, Newyork, 1 - 50 (1988).

20. Alaşalvar, C., "Si(111)-(7x7) yüzeyinin değişik sıcaklıklarda STM ile incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 19-46 (2006).

21. Serway, A.,R., "Serway, 3 ed.", Çolakoğlu, K., **Palme Yayıncılık**, Ankara, 1205-1208 (1996).

22. Spanos, L., "Studies of Silicon Surface Roughness Using Fractals, Atomic Force Microscopy and Spectroscopic Ellipsometry", doktora tezi, **Univercity of North Carolina at chapel Hill,** 23-29 (1994).

23. Oura, K., Lifshits, V.G., Saranin, A.A., Zotov, A.V.,Katayama, M., "Surface science" , **Springer,** Osaka and Vladivostok 19-37, 159-168 (2003).

24. VanHove, M. A., Koestner, R. J., Stair, P. C., Biberian, J. P., Kesmodel, L. L., Bartos, I. and Somorjai, G. A., "The surface reconstructions of the (100) crystal faces of iridium, platinum and gold" , ***Surface Science*** , 103 (1): 189-217 (1981).

25. Heyraud, J. C., and Metois, J. J., "Anomalous $\frac{1}{3}$ 422 difraction spots from {111} flat gold crystallites: (111) surface reconstruction and moire fringes between the surface and the bulk" ***Surface Science*** , 100: 519-528 (1980).

26. Tanishiro, Y., Kanamori, H., Takayanagi, K., Yagi, K., and Honjo, G., "UHV transmission electron micoscopy on the reconstructed surface of (111) gold" , ***Surface Science*** , 111: 395-413 (1981).

27. Harten, U., Lahee, A. M., Toennies, J. P. and Wöll, Ch., "Observation of a soliton reconstruction of Au (111) by high-resolution helium-atom diffraction" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 54: 2619-2622 (1985).

28. Wöll, Ch., Chiang, S., Wilson, R. J. and Lippel, P. H., "Determination of atom positions at stacking-fault dislocations on Au (111) by scanning tunneling microscopy" , ***Phys. Rev.B*** , 39 (11): 7988-7991 (1989).

29. Hallmark, V. M., Chiang, S., Rabolt, J. F., Swalen, J. D. and Wilson, R. J., "Observation of atomic corrugation on Au (111) by scanning tunneling microscopy" , ***Phys. Rev. Lett. ,*** 59 (25): 2879-2882 (1987).

30. Rousset, S., Repain, V., Baudot, G., Garreau, Y. and Lecoeur, J., "Self-ordering of Au(111) vicinal surfaces and application to nanostructure organized growth" , ***Journal of Physics: Condenset Matter***, 15: S3363-S3392 (2003).

31. Barth, J.V., Brune, H., Ertl, G. and Behm, R.J., "Scanning tunneling microscopy observations on the reconstructed Au(111) surface: Atomic structure, long-range superstructure, rotational domains, and surface defects" , ***Phys. Rev.B***, 42 (15): 9307-9318 (1990).

32. Narasimhan, S. and Vanderbilt. D., "Elastic stress domains and the herringbone reconstruction on Au(111)" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 69 (10): 1564-1567 (1992).

33. Bach, C.E., Giesen, M., Ibach, H. and Einstein, T.L., "Stress Relief in Reconstruction" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 78 (22): 4225-4228 (1997).

34. Huang, K.G., Gibbs, D., Zehner, D.M., Sandy, A.R. and Mochrie, S.G.J., **"**Phase behavior of the Au(111) surface: Discommensurations and kinks" , ***Phys. Rev. Lett.*** , 65 (26): 3313-3316 (1990).

35. Sandy, A.R., Mochrie, S.G.J., Zehner, D.M., Huang, K.G. and Gibbs, D., "Structure and phases of the Au(111) surface: X-ray-scattering measurements" , ***Phys. Rev.B***, 43 (6): 4667-4687 (1991).

36. Omicron Nano Technology, "Tip Etching Kit User Manual", ***Omicron Instruments For Surface Science***, Germany, 6-21 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: AKKAYA, Uğur Niyazi
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 25.02.1981 İçel
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0535 679 65 51
e-mail	: ugurnakkaya@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik Bölümü	2006
Lisans	Y.Y.Üniversitesi/ Fizik Öğrt. Bölümü	2003
Lise	Cengiz Topel Lisesi	1997

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Fotoğrafçılık, Bilgisayar teknolojileri, Tiyatro