

**TARAMALI TÜNELLEME ELEKTRON MİKROSKOP
YAPIMI VE TEMEL BİLİMLERE
UYGULAMALARI**

Çağrı ÇIRAK

**Yüksek Lisans Tezi
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA-2005**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARAMALI TÜNELLEME ELEKTRON MİKROSKOP
YAPIMI VE TEMEL BİLİMLERE UYGULAMALARI**

Çağrı ÇIRAK

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Suat ÖZKORUCUKLU

**Yüksek Lisans Tezi
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA-2005**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından FİZİK ANABİLİM DALI' da YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

Üye :

Üye :

ONAY

Bu tez .../.../2005 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| KISALTMALAR DİZİNİ | iii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | iv |
| TEŞEKKÜR | vi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK BİLGİSİ | 3 |
| 2.1 Elektron Mikroskopları | 3 |
| 2.2 Sonda (Probe) Mikroskopi Teknikleri | 5 |
| 2.2.1 Atom Kuvveti Mikroskobu (AFM) | 5 |
| 2.2.2 Taramalı Yakın-Alan Optik Mikroskobu (SNOM) | 8 |
| 2.2.3 Taramalı İyon İletim Mikroskobu (SICM) | 9 |
| 2.2.4 Taramalı Isıl Mikroskobu (SThM) | 10 |
| 2.2.5 Taramalı Tünellemeli Potansiyometri (STP) | 11 |
| 2.2.6 Balistik Elektron Yayma Mikroskobu (BEEM) | 12 |
| 2.2.7 STM' nin Diğer Tekniklere Göre Avantajları | 13 |
| 2.3 Tünelleme Kuramı | 15 |
| 2.3.1 Tünel Akımı | 16 |
| 2.4 Temel Bilimlere Uygulamalar | 21 |
| 2.4.1 Neden Yüzeyler? | 21 |
| 2.4.2 STM' nin Biyolojiye Uygulamaları | 23 |
| 2.4.3 Yüzey Değişikliği | 24 |
| 2.4.4 Metal Yüzeyler | 26 |
| 2.4.5 Yarı – İletken Yüzeyler | 27 |
| 2.4.6 Grafit Yüzeyler | 28 |
| 3. MATERYAL VE METOD | 29 |
| 3.1 Titreşim Yalıtımı | 29 |
| 3.2 Mekanik Tasarım | 31 |
| 3.2.1 Kaba Yaklaştırma Sistemi | 32 |
| 3.2.2 İnce Yaklaştırma Mekanizması | 32 |
| 3.3 Piezoelektrik Kuramı | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.1 | Üç Boyutlu Tarayıcılar..... | 40 |
| 3.4 | Uç Hazırlama | 44 |
| 3.4.1 | Pt – Ir Uçların Hazırlanışı | 45 |
| 3.4.2 | STM Uçlarının Hazırlanışı İçin Diğer Yollar | 50 |
| 3.4.3 | Görüntüleme sistemi | 52 |
| 4. | BULGULAR..... | 53 |
| 4.1 | Elektronik Aksam | 53 |
| 4.1.1 | Ön Yükselteç..... | 55 |
| 4.1.2 | Yükselteç..... | 57 |
| 4.1.3 | Tarama Devresi..... | 59 |
| 4.1.4 | Motor Denetimi..... | 61 |
| 4.2 | Tarama Kafası | 61 |
| 4.3 | Tarama Görüntüleri..... | 62 |
| 5. | SONUÇ | 68 |
| | KAYNAKLAR | 69 |
| | ÖZGEÇMİŞ | 71 |
| | EK -1 | I |
| | Ek - 2 | II |

ÖZET

Bir Taramalı Tünelleme Mikroskobu yüzeylerin atomik seviyede yüksek çözünürlüklü görüntülerini üretebilir. Bu yüzden endüstri ve uygulamalı bilimlerde birçok uygulama alanı bulmuştur. İlk STM 1982 yılında Binnig ve Rohrer tarafından icat edilmiştir ki bu, onlara Nobel Ödülü kazanmıştır. Bu nanoteknoloji alanında yeni bir saha açmıştır ve STM' nin prensibine dayanan birçok yeni görüntüleme tekniği geliştirilmiştir.

Bir STM bazı mekanik ve elektronik bileşenlerden meydana gelir; Bunlar kaba ve ince yaklaştırma mekanizması, tarama kafası ve mikroskobu kontrol eden, taranan yüzeye ait görüntüyü üreten gerekli elektronik devrelerdir. Bu çalışmada atmosfer ortamında çalışan bir STM' nin çalışma ilkesi incelenmiş ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Kaba yaklaştırma mekanizması DC motor ile kontrol edilen bir ray sisteminden üretilmiş, ince yaklaştırma sistemi için mikro konumlandırıcılar ve tarama kafası olarak bir piezo seramik buzzer kullanılmıştır. Taranan yüzeylere ait görüntüyü gözlemlemek için bir osiloskop kullanılmış ve grafit yüzeylere ait bazı görüntüler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taramalı Tünellemeli Mikroskop, Tünelleme, Piezo, Tarama Kafası.

ABSTRACT

A Scanning Tunneling Microscope is capable of producing high resolution images of surfaces at atomic level. Therefore it can be used in a wide variety of applications such as industry and applied sciences. The first STM was invented by Binnig and Rohrer in 1982, and this awarded the Nobel Price to them. This opened new area in nanotechnology and a lot of new imaging techniques has been developed based on princible of the STM.

An STM consists of several mechanical and electronical components; course and fine approach mechanism, scanning head and required electronic circuits for controlling the microscope and producing the images of the scanned surfaces. In this study, the working principle of an atmospheric STM has been investigated and its fabrication designed. The course approach mechanism was constructed out of a rail system controled by a DC motor, the fine approach mechanism was formed by using micro positioners and a piezo ceramic buzzer used as scanning head. An oscilloscope was used to observe the images of scanned surfaces and some images was obtained for graphite surfaces.

Key Words: Scanning Tunneling Microscope, Tunneling, Piezo, Scanning Head.

KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------|---|
| STM | : Scanning Tunneling Microscope |
| SEM | : Scanning Electron Microscope |
| TEM | : Transmission Electron Microscope |
| CRT | : Cathode Ray Tube |
| AFM | : Atomic Force Microscope |
| SNOM | : Scanning Near-Field Optical Microscope |
| SICM | : Scanning Ion Conductance Microscope |
| SThM | : Scanning Thermal Microscope |
| STP | : Scanning Tunneling Potentiometry |
| BEEM | : Ballistic Electron Emission Microscope |
| FIM | : Field Ion Microscope |
| FEM | : Field Emission Microscope |
| LEEM | : Low-Energy Electron Diffraction |
| AES | : Auger Electron Spectroscopy |
| ESCA | : Electron Spectroscopy for Chemical Analysis |
| EPM | : Electron Probe Microanalysis |
| UPS | : Ultraviolet Photoemission Spectroscopy |
| XPS | : X – Ray Photoemission Spectroscopy |
| UHV | : Ultra High Vacuum |
| AVIC | : Acoustic Vibration Isolation Chamber |
| DC | : Direct Current |
| CAD | : Computer Aided Design |
| FET | : Field Effect Transistor |
| HOPG | : High Oriented Pyrotic Graphite |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. STM'nin Çalışma prensibi..... | 1 |
| Şekil 2.1. SEM' de çekilmiş bazı fotoğraflar..... | 4 |
| Şekil 2.2. İlk AFM'nin yapısı..... | 6 |
| Şekil 2.3. AFM' nin şema gösterimi..... | 6 |
| Şekil 2.4. AFM' de çekilmiş birkaç fotoğraf..... | 7 |
| Şekil 2.5. SNOM' un şema gösterimi..... | 8 |
| Şekil 2.6. SICM' in şema gösterimi..... | 9 |
| Şekil 2.7. SThM' nin tarama kafası..... | 10 |
| Şekil 2.8. BEEM' in enerji diyagramı..... | 12 |
| Şekil 2.9. STM çözünürlük menziline diğer mikroskoplarla karşılaştırılması..... | 15 |
| Şekil 2.10. Potansiyel engeli diyagramı..... | 16 |
| Şekil 2.11. Potansiyel engelinde $0 < E < V_0$ çözümü..... | 18 |
| Şekil 2.12. Elektronun enerjisinin bir fonksiyonu olarak geçiş katsayısı..... | 19 |
| Şekil 2.13. Bakır üzerine demir çalışmaları..... | 25 |
| Şekil 2.14. Au(100) yüzeyine ait tek atomlu basamaklar..... | 26 |
| Şekil 2.15. 1000 ve 28 K de çekilmiş Si(111) yüzeyinin resmi..... | 27 |
| Şekil 2.16. EasyScan STM ve kuramsal HOPG görüntüsü..... | 28 |
| Şekil 3.1. Titreşim yalıtım sistemleri..... | 29 |
| Şekil 3.2. Ses yalıtım sistemi..... | 30 |
| Şekil 3.3. AVIC yalıtım kabini..... | 31 |
| Şekil 3.4. DC motora bağlı kayış mekanizması..... | 32 |
| Şekil 3.5. "Micro – Controle" hareket ettiriciler..... | 33 |
| Şekil 3.6. Piezoelektrik maddeye gerilim uygulanması..... | 36 |
| Şekil 3.7. Çeşitli şekillerdeki PZT piezoelektrik seramikler..... | 37 |
| Şekil 3.8. Sık kullanılan 3 boyutlu tarayıcılar..... | 41 |
| Şekil 3.9. Tek tüpte oluşan tarayıcıya çeşitli şekillerde uygulamaları..... | 42 |
| Şekil 3.10. Artı (yada çapraz) şekilli tüp tarayıcısı..... | 43 |
| Şekil 3.11. STM tarama ucunun TEM görüntüleri..... | 45 |
| Şekil 3.12. Uç geometrisinin çözünürlüğe etkisi..... | 46 |
| Şekil 3.13. Musselman Russel uç dağlama düzeneği..... | 47 |
| Şekil 3.14. Musselman ve Russel yöntemi ile elde edilen uç' un SEM görüntüsü.... | 48 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.15. Mekanik kesme yöntemi ile elde edilen uç' un SEM görüntüsü. | 48 |
| Şekil 3.16. Au kaplama PMMA litografik test örneğinin STM görüntüsü. | 49 |
| Şekil 3.17. Uç yalıtımı için kullanılan düzenek. | 51 |
| Şekil 3.18. Kesme yöntemi ile uç hazırlama. | 52 |
| Şekil 3.19. STM'nin tarama prensibi. | 53 |
| Şekil 4.1. STM' nin çalışma şeması. | 54 |
| Şekil 4.2. Ön yükselteç devresi. | 55 |
| Şekil 4.3. Ön yükselteç devre şeması. | 56 |
| Şekil 4.4. Yükselteç devresi. | 57 |
| Şekil 4.5. Geribesleme ve Yükselteç devre şeması. | 58 |
| Şekil 4.6. Tarama devresi. | 59 |
| Şekil 4.7. Tarama ve Güç devre şeması. | 60 |
| Şekil 4.8. Unimorph tarayıcının hareket eksenleri. | 61 |
| Şekil 4.9. 5 V' luk piezo geriliminde HOPG görüntüsü – 1. | 63 |
| Şekil 4.10. 8V' luk piezo geriliminde HOPG görüntüsü – 1. | 64 |
| Şekil 4.11. 8 V piezo gerilimde HOPG görüntüsü – 2. | 65 |
| Şekil 4.12. 8 V' luk piezo gerilimde HOPG görüntüsü – 3. | 66 |
| Şekil 4.13. 8 V' luk piezo geriliminde HOPG görüntüsü – 4. | 66 |
| Şekil 4.14. HOPG' dan alınan yüzey resimlerinin karşılaştırılması -1. | 67 |
| Şekil 4.15. HOPG' dan alınan yüzey resimlerinin karşılaştırılması -2. | 67 |

TEŞEKKÜR

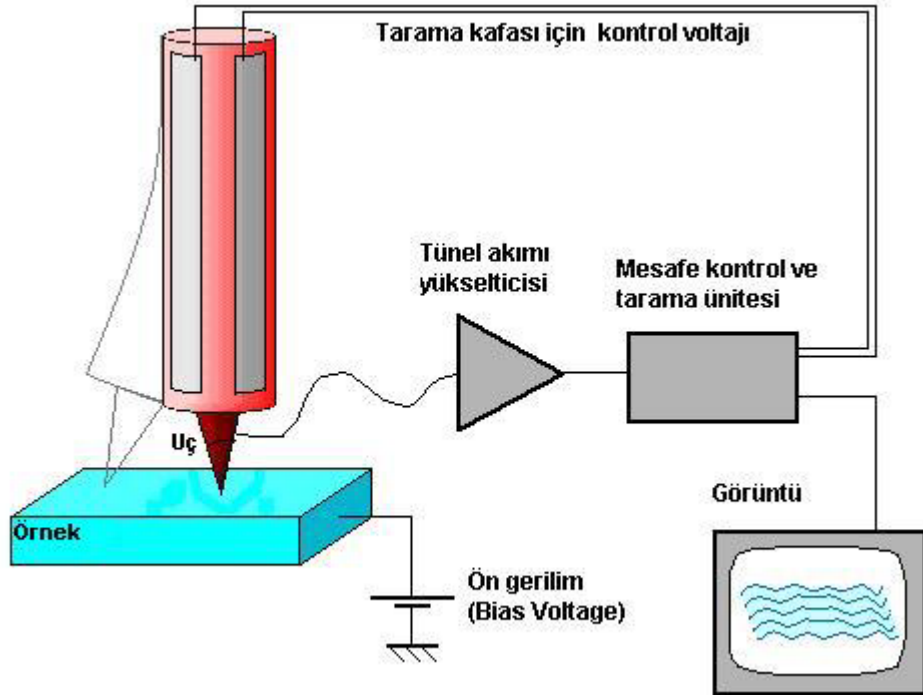
Tez çalışmamın tamamlanmasında bana laboratuvarını, deneylerde kullanılan gereçleri ve zamanını ayıran danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Suat ÖZKORUCUKLU'ya, desteklerini esirgemeyen Arş.Gör. Hakan AKYILDIRIM' a Burcu BOZKURT ve aileme teşekkür ederim.

Çağrı ÇIRAK

1. GİRİŞ

1982 yılında Binnig ve Rohrer, Taramalı Tünellemeli Mikroskobu (Scanning Tunneling Microscope” keşfederek yüzeylerin atomik boyutlarda görüntüleme olanağı sağlamış olması bilimsel açıdan büyük bir ilgi görmüş ve Binnig ve Rohrer’e Nobel fizik ödülü kazandırmıştır.

STM’ nin çalışma prensibi basitçe şöyledir. Aralarında çok küçük bir mesafe (birkaç Å) bulunan örnek ve uç arasında bir öngerilim oluşturulduğunda , kuantum tünellemeden dolayı örnekten uca veya uctan örneğe elektron geçişi olur ki bu da picoamper mertebesinde bir tünel akımına karşılık gelir. Örnek yüzeyi üzerinde uç tarama yaparken oluşan bu tünel akımı ölçülür ve bu akım örnek ile uç arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olduğundan yüzey tomografisi elde edilmesinde kullanılır. Şekil 1.1.’ de bir STM’ nin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.1. STM’nin Çalışma prensibi.

STM' yi birkaç ana parçaya ayırabiliriz;

- Kaba yaklaştırma mekanizması.
- İnce yaklaştırma mekanizması.
- Tarama kafası.
- Elektronik aksam.
- Görüntüleme sistemi.

Kaba yaklaşım mekanizması, örnek ile tarama ucu arasındaki ön yaklaştırmayı sağlamaktadır. Bu mekanizma; vidalı, motorlu veya manyetik sistemlerle yapılabilir ve genellikle örneğin yerleştirilmesi, değiştirilmesi veya tarama ucu değişimi esnasında kullanılır.

İnce yaklaştırma mekanizması ise tünel akımı başlayana kadar örneğin tarama ucuna yaklaştırılmasını sağlar ve angstrom mertebesinde olan bu mesafe uygulanan ön gerilim ve örneğin cinsine göre değişir. Bu mekanizmayı oluşturmak için sıklıkla mikro hareket ettiriciler veya çok hassas step motorlar kullanılır. İnce yaklaştırma mekanizması tarama ucunu örneğe yeterince yaklaştırdığında pA seviyesindeki tünel akımı başlar ve tarama kafası devreye girerek taramayı başlatır.

Tarama kafası genellikle silindirik tüp, kare veya pul şeklindeki piezoelektrik seramiklerle yapılır ve uygulanan gerilime göre birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar tarama yapabilir.

Elektronik aksam, oluşan tünel akımını kontrol ederek uç ile örnek arasındaki mesafeyi bir geri besleme devresi ile ayarlar ve aynı zamanda yükseltelen tünel akımı görüntüleme sistemine gönderilir. Gözlenen tünel akımı bir bilgisayar aracılığı ile kaydedilip işlenerek yüzeyin üç boyutlu tomografisi elde edilir. Görüntü sistemi olarak başka bir yöntem ise tünel akımını gösterebilecek osiloskop gibi bir görüntüleme cihazı kullanılabilir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

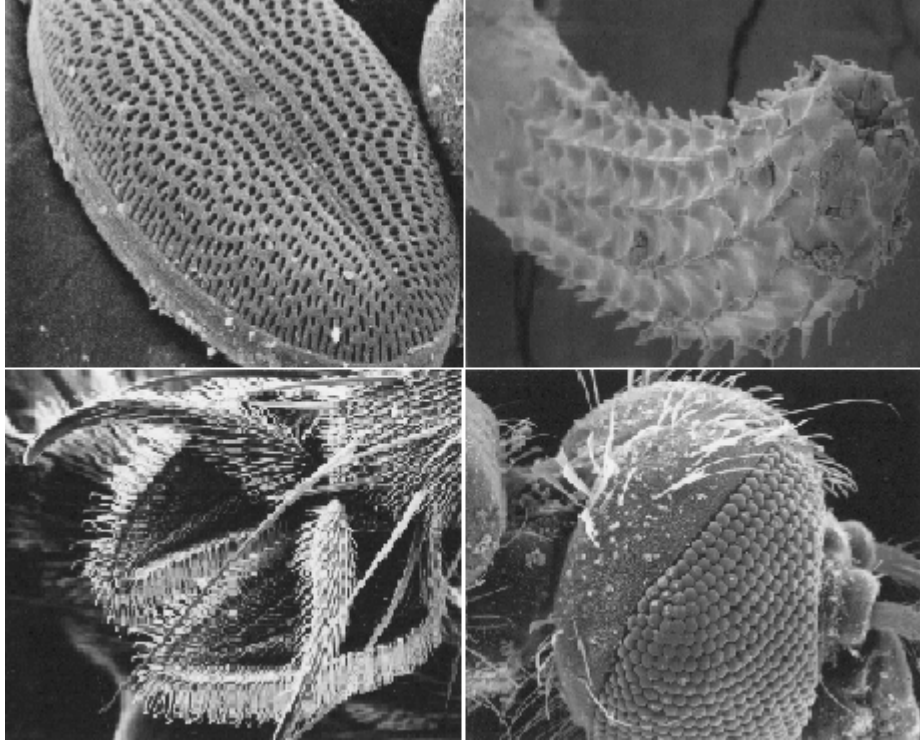
Bu bölümde elektron mikroskopisinin tarihsel gelişimi verilmiştir ve STM ile aynı yapıda olan diğer sonda mikroskopları tanıtılmıştır. Ayrıca tünelleme kuramı ve STM' nin temel bilimlere olan genel uygulamaları anlatılmıştır

2.1 Elektron Mikroskopları

Atom yapılarının ilk keşfi, ışığın hem dalga hem madde özelliğinin fark edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Işık ve diğer enerji çeşitleri hem dalga hem madde özelliğine sahiptirler. 1927 yılında C.J. Davison ve L.H. Germer, elektronun dalga doğasını deneysel olarak doğrulamış ve yüksek enerjili bir elektronun düşük enerjili bir elektrondan daha küçük bir dalga boyuna sahip olduğunu da göstermişlerdir. Bu başarı, geometrik elektron optiğinin geliştirilmesi ile birlikte 1931'de E. Ruska ve M. Kroll tarafından ilk elektron mikroskopun icat edilmiş ve o zamandan beri birçok elektron mikroskobu geliştirilmiştir. En önemli iki elektron mikroskobu tekniği SEM (Scanning Electron Microscope) ve TEM (Transmission Electron Microscope) aşağıda anlatılmıştır.

SEM' de ivmelendirilecek en küçük tesir kesitli elektron demeti haline getirilen bir elektron sondası, örneğe ait bir bölge üzerinde taranır. Görüntü, eş zamanlı olarak dağıtılan bir katot ışın tüpü (CRT) üzerinde gösterilir. SEM çoğunlukla 10- 20 MeV aralığında çalışır. Elektron enerjisinin azaltmanın yüzeye daha yakın bir hacimden bilgiyi çıkartmak gibi bir üstünlüğü vardır. Ancak elektron sondasının çapı, tabancanın parlaklığının azalmasıyla artar. Yavaşça hareket eden bir elektronun yönü, örnek yüzeyine yakın konumdaki elektrik ve manyetik alanlar tarafından kolayca değiştirilebilir. Yüklenmeden dolayı oluşacak etkilerden örneği, ince bir iletken bir tabakayla kaplayarak korumak gerekir. SEM' in çözünürlüğü atomik seviyede görüntü alabilmek için yeterli değildir. Şekil 2.1. de SEM' de çekilmiş bazı fotoğraflar görülmektedir.

TEM (Geçişli Elektron Mikroskopi)' de kısaca, ince bir örnek, elektron tabancasından yayımlanan elektronları oluşturduğu düzgün akım yoğunluklu elektron demetiyle aydınlatılır. Elektronların enerjileri orta gerilim durumunda 60 - 150 KeV aralığında, yüksek gerilim durumunda ise 200 KeV – 3 MeV aralığındadır. İki kademeli bir yoğunlaştırıcı lens sistemi aydınlatma aralığının ve aydınlatma altındaki aralığın değişmesine izin verir. Örneğin gerisindeki elektron yoğunluk dağılımı üç yada dört kademeli bir lens sistemi ile flüoresan ekran üzerinde görüntülenir. Elektronlar atomlarla esnek yada esnek olmayan güçlü saçılmalarla etkileşirler. Bu yüzden örnek çok ince olmalıdır. Örnek kalınlığı yoğunluğa maddesel bileşime ve çözünürlüğe bağlı olarak 100 KeV enerjili elektronlar için 5 nm – 0.5 μ m arasındadır.



Şekil 2.1. SEM' de çekilmiş bazı fotoğraflar.

2.2 Sonda (Probe) Mikroskopi Teknikleri

STM' nin tarama ve verileri işleme tekniğini, farklı boyutlardaki örneklerde ve uygulamalarda kullanabilmek için temel olarak STM' ye benzer fakat farklı uygulamalar için düzenlenmiş sonda (probe) mikroskoplar üretilmiştir. Bu bölümde çok kullanılan bu sonda mikroskopları anlatılmıştır.

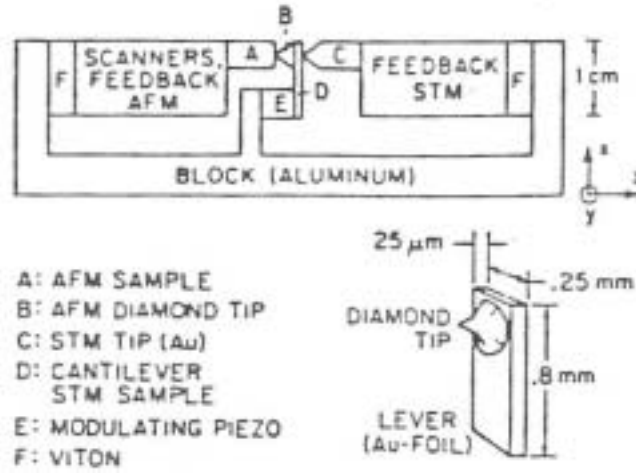
2.2.1 Atom Kuvveti Mikroskobu (AFM)

AFM, STM' nin metal ve yarıiletkenleri tarayabildiği gibi yalıtkanları da bu şekilde tarayabilir. Çok keskin bir uç ve örnek arasındaki atomlar arası kuvvet Binnig' in geliştirdiği Atom kuvveti mikroskobu (Atomic Force Microscope) ile ölçülmüştür.

Şekil 2.2. ilk AFM' nin şematik diyagramını göstermektedir. Bu sistem yayları kullanarak kuvveti ölçmenin en bilinen yoludur. Küçük bir kantilever ışıını, AFM de bir yaymış gibi kullanılır. Yay sabiti, atomlar arası kuvveti hissedebilecek kadar küçük olmalıdır. Ek olarak manivelanın rezonans frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

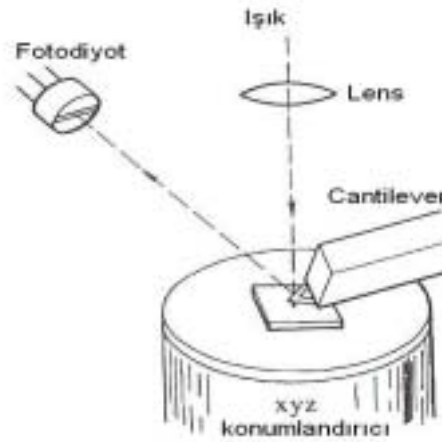
mikroskobu dış etkilerden yalıtabilecek kadar büyük olmalıdır. k ve f_0 ' in değerleri arasındaki çelişki manivelanın boyutlarının düşürülmesiyle ortadan kaldırılır.



Şekil 2.2. İlk AFM'nin yapısı.

Altın yaprak, altın tel veya küçük tungsten teller AFM kantilever yapımında kullanılır. Bu kantilever, 30 kHz rezonans frekansına 2 N/m yay sabitine sahip yüksek performanslı yaylar konvansiyonel silikon teknolojisi ile üretilir.

Yay sapmasındaki yer değiştirmesi bir STM ile manivelaya tünelleyerek tespit edilir. Çoğu AFM mesafe için tünellemeyi kullanır, optik ışın sapması ayrıca bu amaç içinde kullanılmıştır. Bir lazer ışını kantilever'e yerleştirilen bir aynadan sapar ve yansıyan ışın ~10 cm öteye yerleştirilmiş konum detektörüne düşer. Bu düzenek Şekil 2.3. de gösterilmiştir.

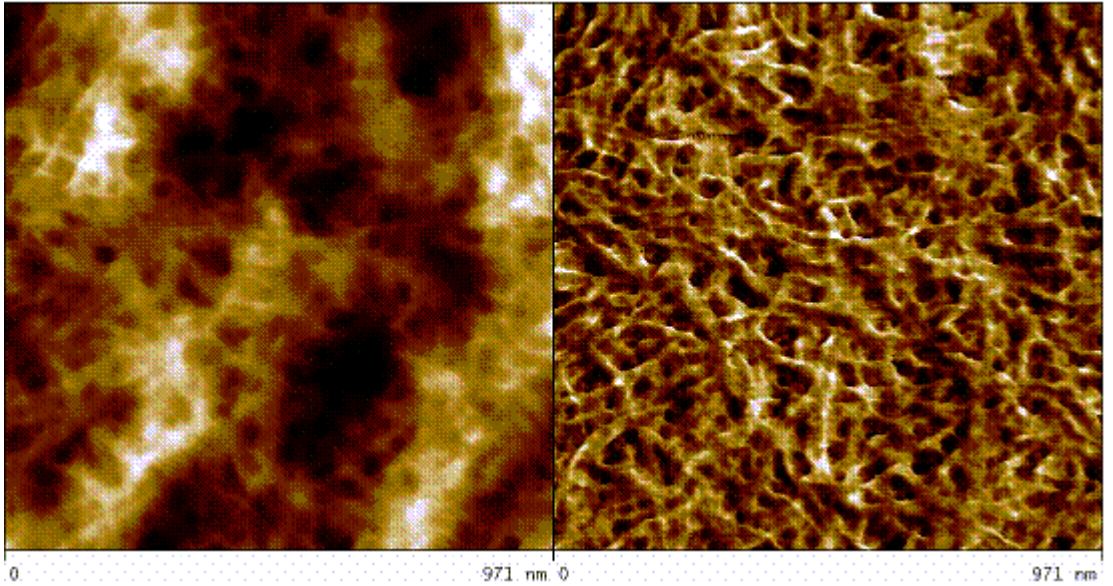


Şekil 2.3. AFM'nin şema gösterimi.

Mikroskop çeşitli kiplerde çalıştırılabilir. Bunlardan ilki şudur: Örnek rezonans frekansında titreştirilir ve yaydaki sapma STM ile tespit edilir. İkinci mod ise manivela rezonans frekansı ile titreştirilir. Rezonans frekansı etkileşme kuvvetiyle doldurulan yaydan dolayı değişir, tünel akımının genliği veya fazındaki değişme geri besleme sistemini sürmek için kullanılır. Üçüncü kip ise kantilever' in durgun sapması ile kuvveti doğrudan elde etmek için kullanılır. Fakat ısısal değişim ve diğer etkenlerden dolayı yay sabiti k , deney boyunca normal değerinden sapar. Bu yüzden bu kip çok güvenilir değildir.

Veriler, STM' ye çok benzer yollarla elde edilir. Örnek kuvveti veya elektrotlar arası ayrımı sabit tutarak taranır. Atomik çözünürlük; grafit, mika ve çeşitli materyallerde AFM' yi kullanarak görülebilir. AFM ile çekilmiş birkaç resim Şekil 2.4. de gösterilmiştir.

Martin ve Wickramasinghe, manyetik etkileşmeleri keşfedebilmek için AFM' yi düzenlemişlerdir. Miknatıslandırılmış uç kullanarak 1000 Å ölçekte manyetik alanı haritalandırmışlardır.

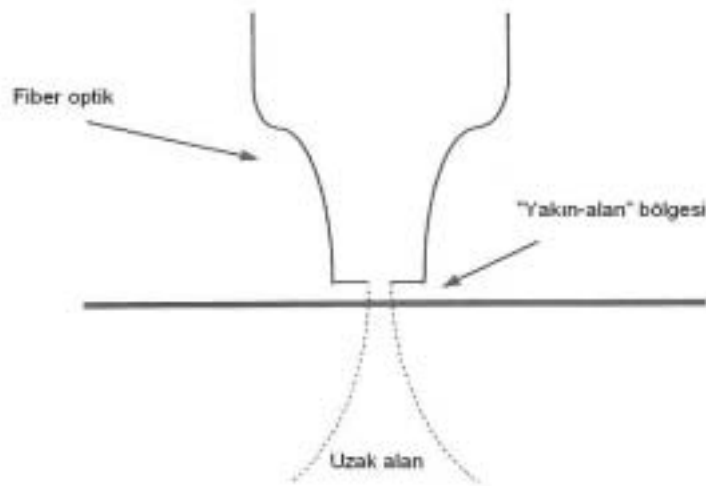


Şekil 2.4. AFM' de çekilmiş birkaç fotoğraf.

2.2.2 Taramalı Yakın-Alan Optik Mikroskobu (SNOM)

Konvensiyonel optik mikroskopların performansı merceğin dağıtkanlığı ile ve kırınım etkileriyle sınırlıdır. “Abbe kırınım limiti” göstermektedir ki maksimum ulaşılabilir çözünürlük ışık kaynağının dalga boyunun yaklaşık yarısına eşittir. Görünür bölgenin ortasındaki yeşil ışığın dalga boyu 550 nm dir. Bu nedenle kuramsal çözünürlük 275 nm (0,275 μm) dir. Ancak bu optik sistemlerin hatasız olduğunu ve ışığın %100’ ünü odakladığını varsayamayız. Yüksek kaliteli aletlerin pratiksel çözünürlüğü aslında 400 nm ye yakındır.

SNOM (Scanning Near-field Optical Microscope) ile bir lazer fiber optik kablolarla örnek üzerine düşürülen tek dalgaboylu bir ışık kaynağı gibi davranır. Kırınım problemlerinden kaçınmak için SNOM yakın alandaki (Near-field) fiber optik kabloyu konumlandırmak için piezoelektrik tüp kullanır. Şöyle ki fiber optik kablolar örneğe o kadar çok yakındır ki kırınım ışığın saçılmasına sebep olmadan önce örnek aydınlatılır. Pratik bir yol olarak, örnek ile fiber optik kablo arasındaki ayırık bölüm, fiber optik kablonun çapının üçte birinden küçük olmalıdır. Bu gerçekten yakın alanda çalışmayı sağlamıştır.

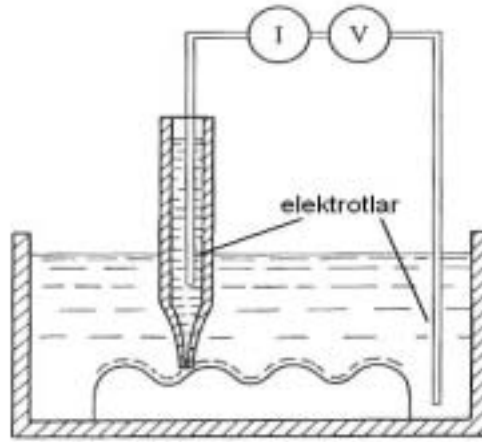


Şekil 2.5. SNOM’ un şema gösterimi.

Lazer ışığı örneği fiber optik kablo yardımıyla aydınlatır ve sonuç olarak uzak bölge (Far-field) olarak bilinen yerdeki bir objektif lensi ile saçıldıktan sonra toplanır. Objektif lensi yansıma yada geçiş konumundadır. İkinci konum genellikle yarı geçirgen biyolojik örneklerde tercih edilir. Objektif lensle toplanan ışık yoğunluğu optiksel görüntünün oluşturulmasında kullanılır. Açıkça diğer sonda mikroskoplarında olduğu gibi bunun içinde fiber optik kabloyu örnekten doğru yükseklikte tutabilecek bir kontrol oluşturmak gereklidir. Bu AFM’ deki “non contact AC” modu ile benzerdir. Ancak SNOM’ da dikey fiber optik kablo örneğe yaklaştıkça yanıl olarak salınır ve salınımın genliği çekici Van Der Waals kuvvetinin etkisi ile azalır. Bu bilgi yüzeyin topografyasının kayıt edilmesinde kullanılabilir, bu yüzden aynı bölgenin optik ve topografik resimleri karşılaştırılabilir.

2.2.3 Taramalı İyon İletim Mikroskobu (SICM)

Mikro-pH sondasına benzeyen bu alet 1989 da iletken çözeltiler içine daldırılmış yalıtkan maddeleri inceleyebilmek için Hansma ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. İletken çözelti ile dolu, elektrot içeren bir mikropipet örneğin yakınına yerleştirilir. Bu mikropipetteki açıklık iyon akışını sınırlar. Sonuç olarak mikropipetteki elektrot ve iletken çözelti içindeki referans elektrotu arasındaki elektriksel iletim bu açıklığın azalmasıyla artar.

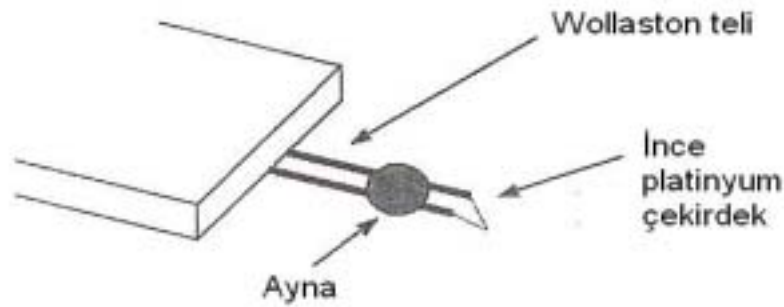


Şekil 2.6. SICM’ in şema gösterimi.

Taramalı İyon iletim mikroskobunda (Scanning Ion Conductance Microscope) topografiksel görüntü elde etmek için mikropipet, örnek üzerinde piezoelektrik tüp vasıtasıyla taranır. Kontrol döngüsü sabit iletkenlik sağlamak için piezonun düşey pozisyonunu ayarlar. Alternatif olarak sabit yükseklikte mikropipeti örneğin üzerinde tarayarak iyon akışındaki (iyonik akım) yerel değişiklikler kaydedilebilir ve biyolojik sistemlerin elektrofizyolojik verilerin ölçülerinde kullanılabilir.

2.2.4 Taramalı Isıl Mikroskobu (SThM)

Bu alet örneğin topografik görüntüsüne ek olarak, ısı özelliklerinin ölçülerine izin vermiştir. Dinwiddie ve arkadaşları tarafından geliştirilen ısı Sensör ilk bakışta AFM' nin kantilever'ine benzer, aslında gümüş kaplanmış ince platinyum "Wollaston teli" inden üretilmiştir. Sensörün en sonunda platinyum teli açığa çıkarmak üzere asit ile dağlanır ve bu parça bir uç oluşturması için aşağı yönlü açıldırılır. Termal sensörün ucu, tarama esnasında örnek ile temas halindedir ve örneğin topografisi sensörün ayaklarına yapıştırılmış yansıtıcı yüzey yardımıyla kaydedilir. Platinyum çekirdeğin yarıçapı 5 μm , gümüş kaplı parçanın çapı ise 75 μm dir.



Şekil 2.7. SThM' nin tarama kafası.

Kaba görünüşlerine rağmen sensörler yaklaşık 1 nN' luk kuvvet sabitleriyle üretilebilirler. Ayrıca piramit yapıdaki iğne içine bir termistörün yerleştirilebildiği silikon nitrit AFM manivelalar üretmekte mümkündür. Küçük bir DC elektrik sinyalinin uygulanmasıyla sensöre ait uç ısınır ve bu ısının bir miktarı örneğe aktarılır. Görüntüleme tekniği tarama sırasında gerektiğinde sensör ucundaki ucu sabit bir sıcaklıkta tutmak için uygulanan elektrik sinyalini ayarlamaktır. Böylece örneğe ait farklı yerlerin sıcaklığını sabit bir değerde tutmak için gerekli olan elektriksel güç belirlenebilir ve ısıl iletkenlikteki göreceli değişimi veren bir görüntü elde edilir. Ek olarak elektrik sinyaline bir AC bileşeni ekleyerek, genellikle birkaç kHz' lik frekansa sahip kısa ısı atmalarını yüzeye uygulamakta mümkündür. Bu ısıl geçirgenlik yani ısının örneğin farkı derinlikleri ve nasıl nüfuz ettiği hakkında bilgi sağlar. Sondanın kütesinin küçük olması ısıl özelliklerdeki değişime karşı ani tepkiler oluşmasını sağlar. Bu tekniğin güzelliği her üç veri tipinin de (topografi, ısıl iletkenlik ve ısıl dağınıklık) aynı alana eş zamanlı olarak toplanabilmesidir. Eğer uç sabit bir x-y konumunda tutulursa yerel örnek ısıtma etkilerini sensörün z yer değiştirmesini kaydederek bulmak mümkündür. Bu ise bize örneğin erime ve genleşme gibi ısıl mekanik özellikleri hakkında bilgi verir.

2.2.5 Taramalı Tünellemeli Potansiyometri (STP)

STM' deki tünel akımı;

$$I = \frac{V}{R_t(V, d)}$$

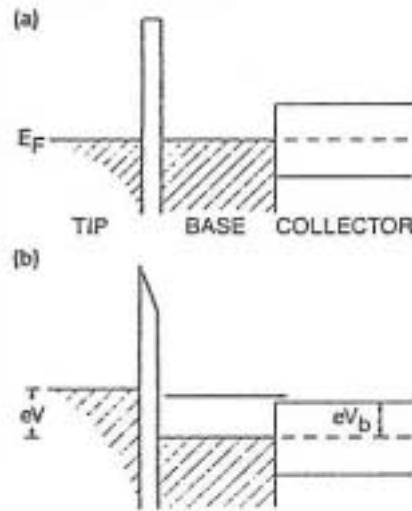
olarak yazılır, $R_t(V, d)$ gerilim ve mesafeye bağlı tünel direncidir. Sabit akım kipinde örneğin topografisi, gerilim ve direnç sabit tutulursa oluşur. Taramalı tünellemeli potansiyometri (Scanning tunneling potentiometry) olarak tanımlanan bu yöntem Muralt ve Pohl tarafından geliştirilmiştir.

Yüzey potansiyeli $V(x, y)$ olan örnek bir DC kaynak ile önyüklenir. Uç ise bir AC gerilimle önyüklenir. Sonuç olarak tünel akımının AC parçası düzeltilmiş ve tünel aralığını sabit tutmak için kullanılmış olur. DC geri besleme akımını için uç

gerilimine diğer bir önyüklemeye gerilimi eklenir. Bu yüzden tarama ucuna eklenen bu ek öngerilimi, o özel noktadaki yüzey potansiyeline aittir.

2.2.6 Balistik Elektron Yayma Mikroskobu (BEEM)

Schottky engelleri, heteroyapılı ve benzeri yapıların araştırılması katıhal fiziğinde çok önemlidir. Bu yüzden geleneksel teknikler çoğu durumda çok iyi işler. Kaiser tarafından geliştirilen Balistik Elektron Yayma Mikroskobu (Ballistic Electron Emission Microscope), bir heteroyapının arayüz bölgesine tünel elektronlarının balistik nüfuzunu kullanmıştır. Eğer çok ince ($\sim 100 \text{ \AA}$) bir metal film, yarıiletken üzerine yerleştirilirse, tünel elektronları balistik olarak arayüze ulaşabilir. Çünkü metalin inceliği elektronların ortalama serbest yolundan küçüktür. Şekil 2.8. BEEM' in enerji diyagramını gösterir.



Şekil 2.8. BEEM' in enerji diyagramı.

Eğer uç öngerilimi eklem engelinden küçükse, V_b , tünel elektronlarının enerjisi potansiyel adımını atlamaya yetmez ve toplayıcı akım oluşmaz. Eğer uç gerilimi eklem engelinden büyükse, elektronların bazıları toplayıcıya geçecektir ve bu

elektronların hareketinden dolayı bir toplama akımı oluşacaktır. Bu nedenle, Schottky engeli yüksekliği direkt olarak ölçülebilir. Dahası nanometre çözünürlüğündeki engel değişimleri haritalandırılabilmiş olur. Kaiser 20 Å çözünürlükteki Au-Si ve Au-GaAs eklemlerindeki Schottky engeli yüksekliklerini ölçmüştür.

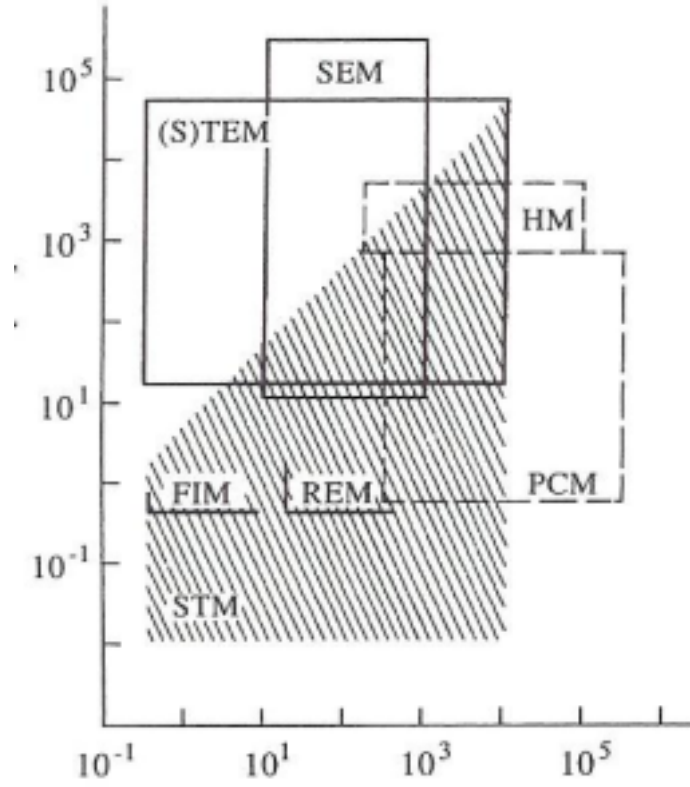
2.2.7 STM' nin Diğer Tekniklere Göre Avantajları

Field Ion Microscope (FIM), Field Emission Microscope (FEM), Low-Energy Electron Diffraction (LEED), Auger Electron Spectroscopy (AES), Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA), Electron Probe Microanalysis (EPM) gibi yüzey analizi ve kimyasal analiz üzerine teknikler E. Ruska ve M. Knoll' un 1931 yılındaki Berlin de ilk elektron mikroskobunu icat etmeleriyle gelişmiştir. Bu tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanmaları yüzey bilimi alanında önemli bir rol oynamıştır. Bununla birlikte her bir tekniğin belirli gücü ve sınırları vardır. LEED ve X ışını kırınımı teknikleri büyük alanlarda çalışır ve en iyi ortalama bilgiyi, yerel ve kusurlu yapılar hakkında bilgi verir; bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) oldukça katlı veya kütleli, zıtlığı yüksek örnekler gerektirir ve çözünürlüğü yüzey atomlarını göstermeye yetmez. Yüksek çözünürlüklü geçişli elektron mikroskobu (TEM) bazı durumlarda özel tekniklerle inceltilmiş örneklerin bazı atomik özelliklerini çözebilir. Pek çok durumda bu, elektron demetini kristal örgüdeki atom sırasıyla düzenlemekle başarılabilir. FEM ve FIM sadece yarıçapı 100 nm den küçük keskin uçların atomik yapısına ait iki boyutlu geometriyi sağlayabilir. Ayrıca örnek hazırlamak de oldukça karmaşıktır. FIM ile incelecek örnek yüksek değerli alanlarda kararlı olmalıdır, buda onun genel yararlılığını sınırlar. X- ışını Foto Emisyon Spektroskopisi (XPS), Ultraviyole Fotoemisyon Spektroskopisi (UPS) ve Elektron Enerji Kaybı Spektroskopisi gibi yüzey analizi teknikleri aslında sadece elektronik yapıya ait ortalama bir uzaysal bilgi sağlayabilirler. Dahası yukarıda bahsi geçen bazı teknikler yüksek vakum gerektirir ve sadece dolaylı sonuçlar sağlarlar yada verimin yorumlanması için fazlasıyla model sistemlere dayanırlar. STM ile tanışılana dek atomik seviyede geometrik ve elektronik yüzey yapısını çevrel basınçta ve oda sıcaklığında doğrudan gözlemek bir hayal olarak kalmıştır.

Diğer yüzey analiz teknikleriyle karşılaştırıldığında STM ve STM tabanlı teknolojik uygulamaların farklı olmasında birçok sebep vardır:

- STM atomik seviyede çözünürlüğe ulaşabilir. Yanal ve düşey çözünürlükler sırasıyla 0,1 nm ve 0,01 nm değerine ulaşabilir, böylece tek tek atomlar ve moleküller çözülebilir. Şekil 2.9. STM' nin çözünürlüğünü diğer mikroskoplarınkiyle karşılaştırmaktadır. STM' nin diğer mikroskoplara göre daha yüksek olan çözünürlüğü, yüzeyin görüntüsünü nanometre ölçeğinde nitel olarak analiz etme avantajını da sunar.
- STM vakum, hava, alçak yada yüksek sıcaklık gibi çeşitli çevrelerde çalıştırılabilir. Örnekler potansiyel kontrolü altında su veya diğer çözeltilere daldırılabilir. Birçok halde örnek hazırlamak için özel tekniklere ihtiyaç duyulmaz ve örnekler hasar görmez. Bu avantajlarıyla STM özellikle elektrokimyasal çalışmalarda, biyolojik çalışmalarda ve değişik deneysel koşullarda örnek yüzeyinin değerlendirilmesinde özellikle uygundur.
- STM' nin eşsiz diğer bir özelliği ise incelenen örneğin hacimsel azının veya büyük bir yüzey alanının ortalama özellikleriyle ilgilenmekten ziyade atomik ölçekte tamamıyla yerel etkileşiminde bulunmasıdır. Bu özellik bireysel yüzey adsorbantın sebep olduğu yüzeyin inşasını benzersiz çözünürlükte incelemeyi sağlar.
- Yüzeyin ve katı-sıvı arayüzünün gerçek uzaydaki üç boyutlu resimleri örneğin periyodikliğinden bağımsız olarak gerçek zamanlı elde edilebilir. Bu yetenek yüzey üzerinde ve katı-sıvı arayüzünde meydana gelen bazı dinamik süreçlerin tabii vaziyetinde resimlendirilmesini mümkün kılar.
- Yük yoğunluk dalgaları, yüzey engelini değişimi ve enerji aralığının değişimi gibi yerel yüzey elektronik özellikler spektroskopik görüntüler kadar iyi bir şekilde STM teknikleri kullanarak elde edilir.

- STM bir yüzeyin değiştirmesi için, atom ve moleküllerin uç-örnek arasında geçişini sağlamak amacıyla kullanılabilir ki bu özelliğiyle atomik veya moleküler ölçekli cihazların yapılmasına yol açar.



Şekil 2.9. STM çözünürlük menzilin diğer mikroskoplarla karşılaştırılması.

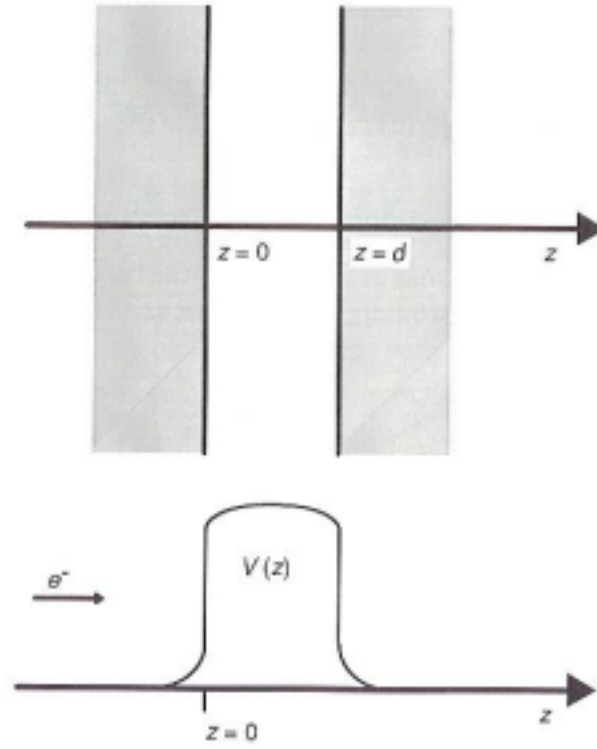
2.3 Tünelleme Kuramı

STM ile bazı deneyler yapılabilmesi için birkaç fiziksel kuramı iyi bilmek gerekir. Bu kuramlar örneklerin seçiminde ve deneylerin gerçekleşmesinde faydalı olacaktır. STM'nin tünel eklemi kuantum mekaniksel bir sistemdir, bu yüzden STM fiziğini anlamak için temel kuantum mekaniği bilgisi gereklidir. STM' deki tünel sürecinde kullanılan modeller ve yaklaşımlar için 1984 yılında Baratoff tarafından bir çalışma yapılmıştır.

2.3.1 Tünel Akımı

Tek boyutta iki paralel elektrot ele alınırsa, bu elektrotlar arasındaki bir elektronun hareketi Schrödinger denklemi ile şöyle ifade edilir;

$$i\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\vec{z},t) = \hat{H}\Psi(\vec{z},t)$$



Şekil 2.10. Potansiyel engeli diyagramı.

Burada \mathbf{H} sistemin Hamiltonyenidir ve tünel eklemi için Hamiltonyenin kinetik enerjisi;

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\Psi(\vec{z},t)$$

ve potansiyel enerjisi;

$$V(\bar{z})\Psi(\bar{z}, t)$$

şeklinde verilir.

Potansiyel enerji elektrotlar haricinde, yani 0 ile d arasındaki aralık dışında, sıfırdır. Burada d engelin kalınlığıdır. Elektrotların dalga fonksiyonu $\Psi(\bar{z}, t)$ aşağıdaki eşitliğin bir çözümüdür;

$$\begin{aligned} i\frac{\partial}{\partial t}\Psi(\bar{z}, t) &= -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\Psi(\bar{z}, t) + V(\bar{z})\Psi(\bar{z}, t) \\ &= \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + V(\bar{z}) \right]\Psi(\bar{z}, t) \end{aligned}$$

Elektronun enerjisi E ise $E < V$ durumunda elektron klasik olarak tünel engelini aşamayacaktır. Kuantum mekaniksel çözüme devam edersek;

I. Bölgede ($z < 0$);

$$\begin{aligned} k^2 &= \frac{2mE}{\hbar^2} \\ \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2} + k^2\Psi &= 0 \end{aligned}$$

II. Bölgede ($0 < z < d$);

$$\begin{aligned} \alpha^2 &= \frac{2m(V - E)}{\hbar^2} \\ \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2} - \alpha^2\Psi &= 0 \end{aligned}$$

III. Bölgede ($d < z$);

$$\begin{aligned} k^2 &= \frac{2mE}{\hbar^2} \\ \frac{\partial^2\Psi}{\partial z^2} + k^2\Psi &= 0 \end{aligned}$$

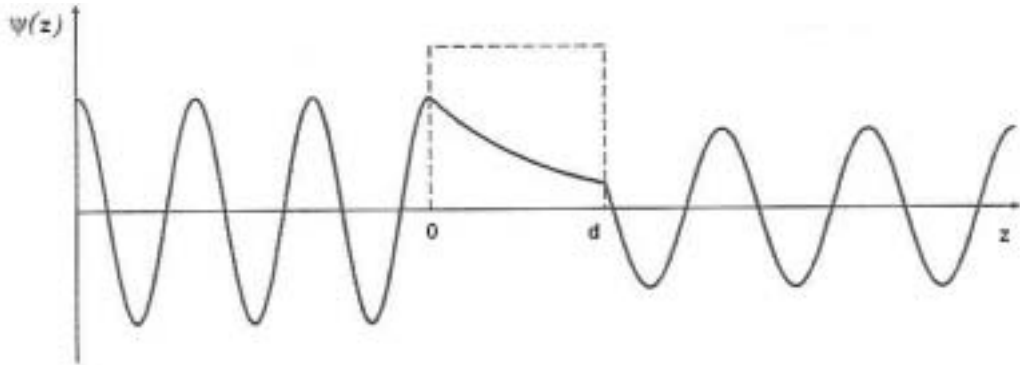
olur. Genel çözümleri yazacak olursak;

$$\bar{\Psi} = \begin{cases} Ae^{ikz} + Be^{-ikz} \\ Ce^{\alpha z} + De^{-\alpha z} \\ Fe^{ikz} \end{cases}$$

Tünel engeli hem geçiş hem de yansıma olayına sahiptir. Tünel akımının ölçümünde III. bölgeye geçişi seçmek zorundayız. III. bölgeye geçen elektronların dalga denklemi;

$$\bar{\Psi}_{III} = Fe^{ikz}$$

şeklinde temsil edilir.



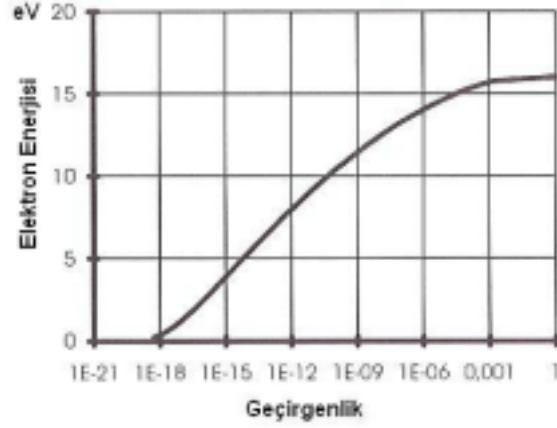
Şekil 2.11. Potansiyel engelinde $0 < E < V_0$ çözümü.

Bu durumda elektronun III. bölgeye geçiş olasılığı;

$$T = \left| \frac{F}{A} \right|^2 = \left[1 + \frac{V^2 \sinh^2 \alpha d}{4E(V - E)} \right]^{-1}$$

olarak hesaplanır. Bu formülden görüleceği gibi $E < V$ olmasına rağmen T geçiş katsayısı 0 ile 1 arasında bir değerdedir. Yani elektronun enerjisi engelden küçük

olsa bile III. bölgeye geçme ihtimali vardır. Bu geçirgenlik Şekil 2.12' de gösterilmiştir



Şekil 2.12. Elektronun enerjisinin bir fonksiyonu olarak geçiş katsayısı.

Tünelleme olasılığı elektronun enerjisi ve tünel engelinin genişliğine bağlı olarak değişir. T geçiş katsayısı için çözümlenmeye devam edersek;

$$\begin{aligned} \alpha.d &= \sqrt{2m(V-E)} \frac{d}{\hbar} \\ \alpha.d \gg 1 &\Rightarrow (V-E) \left(\frac{2md^2}{\hbar^2} \right) \gg 1 \\ &\Rightarrow E \ll V \\ &\Rightarrow \sinh(\alpha d) = \frac{(e^{\alpha d} - e^{-\alpha d})}{2} \\ &\Rightarrow \sinh(\alpha d) \approx \frac{e^{\alpha d}}{2} \end{aligned}$$

olur. Bu durumda T katsayısının paydasındaki terim yanındaki 1'den daha büyük olur. Böylece;

$$T = \frac{16(V-E)}{V^2} E.e^{-2\sqrt{2m(V-E)} \frac{d}{\hbar}}$$

yaklaşık ifadesi bulunur. Bu formülden anlaşılacağı gibi elektronun geçiş olasılığı engelin genişliği ile üstel olarak azalmaktadır.

Başka bir deyişle;

$$T \propto e^{-2\alpha d}$$

yazılabilir.

Tünel akımı hakkında en genel yaklaşım Bardeen tünel akımı yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre;

$$f(E) = \exp\left(\left[\frac{E - \mu}{k_B T} + 1\right]\right)^{-1}$$

$$I = \frac{2e\pi}{\hbar} \sum f(E_T)[1 - f(E_S + eV)] |M_{TS}|^2 \delta(E_T - E_S)$$

dir. Bu formülde $f(E)$ fermi fonksiyonu V uç ile örnek arasına uygulanan öngerilim, M_{TS} uç' un dalga fonksiyonu Ψ_T ve örnek yüzeyinin dalga fonksiyonu Ψ_S arasındaki tünelleme matris elemanı, δ delta fonksiyonu, E_i tünellemenin olmadığı yerdeki enerji ($i=T,S$), k_B boltzman sabiti ve T sıcaklıktır. M_{TS} matris elemanı ise şöyle elde edilir;

$$M_{TS} = -\frac{\hbar^2}{2m} \int ds (\vec{\psi}_t^* \nabla^2 \vec{\Psi}_s - \vec{\Psi}_s \nabla^2 \vec{\psi}_t^*)$$

m , serbest elektron kütesidir. İntegral tamamıyla uç ve örnek arasında uzanan engel üzerinden alınır.

Sonuç olarak, düşük öngerilimde ve düşük sıcaklıkta, $f(E)$ fermi fonksiyonu genişletilerek tünel akımı;

$$I = \frac{2\pi}{\hbar} e^2 V \sum_{TS} |M_{TS}|^2 \delta(E_T - E_F) \delta(E_S - E_F)$$

$$I \propto |\Psi_S|^2 |\Psi_T|^2 e^{-2\alpha d}$$

şekilde yazılabilmiş olur.

2.4 Temel Bilimlere Uygulamalar

STM geniş bir uygulama alanına sahiptir. Fizik’ de yarıiletken ve metal yüzeylerin araştırılması, biyoloji’ de DNA ve zar çalışmaları, kimya’ da polimer çalışmaları, nanometrik alanlarda yüzey değişiklikleri, nano litografi işlemler ve kristal kusurlarının görülmesi gibi alanlarda kullanılır.

2.4.1 Neden Yüzeyler?

Katı yüzeylerin çalışılması ve bu çalışmaya ait tekniklerin varlığı özellikle 1960’ dan sonra oldukça artmıştır. Bunu en önemli sebeplerinden birisi, yüzey özelliklerinin anlaşılmasının öneminin kavranması ve yüzeyler üzerinde çalışmanın gerçek dünyaya ait özel uygulamaların geliştirilmesidir diyebiliriz. Temel seviyede yüzeylere ilgi duyulmasının sebebi katıhale ait oldukça özel türde kusurları sunmasıdır. Katılara ait anlayışımızın temelinde esasen üç boyutta mükemmel bir periyodikliğe sahip olmaları gerçeği yatar. Bu periyodiklik kullanılarak titreşimsel ve elektronik özellikler detaylı olarak tasvir edilebilir. Bir yüzeyi tanımak bu periyodikliği tek boyutta bozar ve yerel elektronik ve titreşimsel durumların tanınmasında olduğu gibi yapısal değişikliklere öncülük edebilir. Bu etkilere ait bütün bir kavrayışın elde edilmesi sadece akademik bir ilgi değil, yarıiletken cihazlardaki düşük boyutlardaki yapıların özelliklerine olan ilgi ve serbest bir yüzeyin böyle bir yapıya ait en basit halini sunabilmesindedir.

Bekliden modern yüzey çalışmalarına en büyük aktarım heterojen katalizörlerin anlaşılmasının hedeflenmesidir. Katı katalizörlerin (genellikle toz) varlığından meydana gelen belirli kimyasal etkileşmelerin artışı katı yüzey üzerinde emildiği

zaman diğer bileşenlerle etkileşim yeteneğini arttıran en az bir kimyasal bileşenin değişikliği sonucu meydana gelir. Bu durumda şunlar merak edilir; Bu değişiklikler nelerdir? Bu arada oluşan ara türler var mıdır? Basamaklar ve aktivasyon enerjisi hangi oranlarda sınırlandırılır? Katalizör yüzeyi üzerindeki hangi bölgeler etkindir? Bu süreçler katalizör maddeye nasıl bağlıdır? Bu soruların çözülmesiyle, daha iyi ve daha ucuz (bir çok katalizör, platinyum gibi pahalı metallere üretilir) üretilebilir.

Yüzeyler için kullanılan tekniklerin sıkıntısı, yüzeyleri karakterize etmek ve tepkime süreçlerinin ayrıntılı olarak tanımlanmasıdır. Ancak bu şekilde durumun ne olduğu iyi bilinir. Bu yaklaşımın katalitik problemlere uygulanmasının güç olduğu gözükse de son yıllarda elde edilen bulgular cesaret verici olmuştur. Hatta 80' lerin başında mikroskobik seviyede bazı basit katalitik tepkimelerin anlaşılması bu tür çalışmaların yapılmasıyla ortaya çıkmıştır. O zaman dan bu zamana daha karmaşık problemlere yeterli doğrulukta çözümler bulunmuştur.

Yüzeylerle ilgili diğer bir çalışma alanı, metallerin kimyasal aşınması ve kırılmalardan dolayı oluşan mekanik kusurlar üzerinedir. Katı yüzeylerin safsızlığını gidermek için yapılan bu çalışmalar maddelerin mühendislikteki kullanım alanlarını çoğaltmıştır. Serbest yüzeyler üzerine yapılan çalışmalar kimyasal aşınmaya karşı direnci artırıcı etkilere sahiptir. Özellikle en üstteki birkaç atomik tabakanın yapısının keşfi kimyasal aşınmaya uğramış yüzey hakkında bir çok bilgi sunmuştur. İyon bombardımanı gibi atomik tabakaların yerini değiştirmeye yarayan bir teknikle birleştirildiğinde yüzeyin derinlemesine bir profili ve alt yüzeylerin yapısı öğrenilebilir.

Yüzey çalışmalarının temel problemlere çözüm üretmeye çalıştığı ara alan yarıiletken cihazların üretimidir. Cihazların üretimindeki problemlerin giderilmesine yönelik derinlik profili çalışmaları vardır. Örneğin, metal ve yarıiletken arasında meydana gelmesi muhtemel kimyasal etkileşimlerden dolayı, metal-yarıiletken eklemler oluşturmak oldukça zordur. Yarıiletken yüzeyler söz konusu olduğunda en basit problemlerden bazıları bile açık çözümlere sahip olamaz, yarıiletken yüzeylerin bir çoğu topaklı bir yapı ile karşılaştırıldığında bazı yapısal atomik düzenlemelere

sahiptirler. Mesela Si(111) yüzeyinin kararlı yapısı periyodiklik bakımından topaklı yapıdan 7 kat daha üstün bir süper örgü meydana getirir. Bu karmaşık yapının inşasını anlaşılabilme çabası temel yüzey bilimlerinin anahtar bir sorunu olmuştur. Ancak 80' lerin sonuyla yöntemlerin bir araya getirilmesi daha açık bir resmin elde edilmesini sağlamıştır. Bu konuda yüksek enerji elektron difraksiyonu ve STM yöntemleri çok büyük bir rol oynamıştır.

2.4.2 STM' nin Biyolojiye Uygulamaları

G. Binnig ve H. Rohrer' in STM' yi icadından kısa bir süre sonra bu yeni tekniğin biyomoleküllere uygulanmasına başlanmış ve hızla gelişmiştir. Nükleik asitlerin, proteinlerin, biyolojik zarların ve süper moleküler biyosistemlerin yapısal keşfine dair çok sayıda anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu yeni gelişmeler, yeni tekniğin biyolojik nesnelerin yüzey analizinin incelenmesi için nasıl bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Atomik seviyedeki çözünürlüğe He kırınımı ve düşük enerji elektron kırınımı gibi X ışını kırınım teknikleriyle de ulaşılabilir ama bu teknikler kristal yapılar gerektirir ve gerçek uzaydaki yerel yapısal bilgidен daha çok ortalama bilgi sağlarlar.

Vakum gerektiren elektron mikroskopisinin ve kristal yapı gerektiren X ışını kırınım tekniklerinin aksine STM' ye ait yüzey yapısı görüntüleme tekniği kristal ve kristal olmayan yapılara sadece vakumda değil havada, çok düşük sıcaklıkta, ortam basıncı ve sıcaklığında hatta çözeltiler içinde angstrom seviyesinden nanometre seviyesine kadar uygulanabilir. Biyolojik örnekler böylesi steril ortamlarda ölebilirler ve yapılan canlı oldukları hallerinden daha farklı hale gelebilir. Bu yüzden biyolojik örneklerin yapısını doğal veya doğala yakın durumlarda (çevrel sıcaklık ve basınçta veya sulu çözeltilerde) incelemek biyologlar için bir hayaldir. STM' nin bunu sağlayabileceği olasılığı biyologların ilgisini STM üzerine yöneltmiştir.

STM' nin pozitif bilimler sahasında böylesi eşsiz avantajları içermesine rağmen yine de bazı önemli sorunlarla karşılaşmaktadır.

STM' nin biyolojik maddelere uygulanabilirliğini geliştirmek için yeni örnekler bulunmalıdır yada mevcut olan yöntemleri biyolojik örneği etkilemeyecek şekilde geliştirilmelidir. Sıcaklığı 600 – 800 K olan mika yüzey üzerine buharlaştırma yoluyla basitçe elde edilen kristal yapıdaki altın popüler bir kullanıma sahiptir. AFM çalışmaları için mika oldukça uygun bir örnektir.

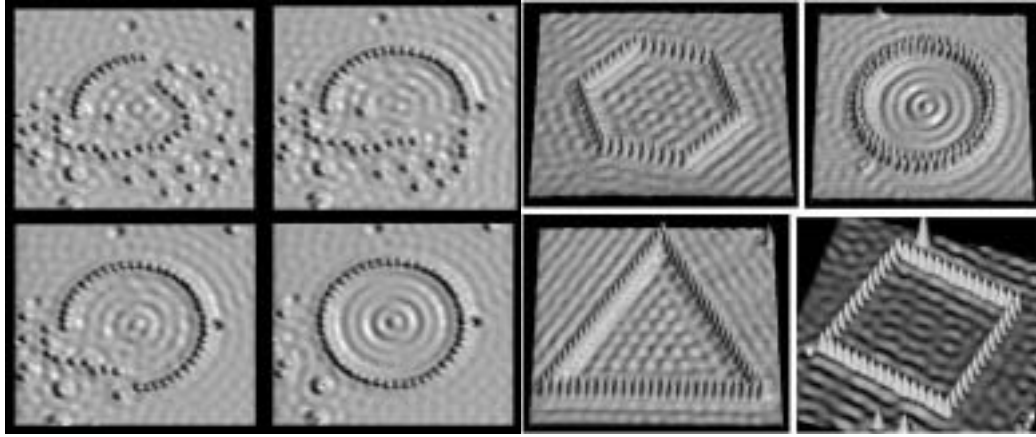
Çoğu biyolojik örnek sert yapılı değildir ve çeşitli yönlerde esnekliğe sahiptir. Uzun peptit örnekleri ve karbonhidratlar döndürülebilir veya katlanabilir. Çoğu zaman kararlı olarak bilinen DNA bile farklı koşullar altında değişik yapılar oluşturabilmektedir ve bükülme veya çözülmek gibi yapısal değişikliklere uğrayabilmektedir. Uç örnek üzerinde tarama yaparken uç – örnek etkileşmesi ve bazı ısıl kaymalar örnek yüzeyinde bir yandan biçim bozukluklarına neden olurlar diğer yandan düşük görüntü çözünürlüğüne neden olabilir. Bu sorun uç – örnek etkileşmesini azaltılarak halledilebilir. Örneği düşük sıcaklıkta yerleştirmek ısıl kaymaları azaltmasına rağmen; o kadar düşük sıcaklıklar doğal halden uzaktır ve yüzey yapısını bozmak gibi kullanımla ilgili bazı zorluklara sahiptir.

Elde edilen STM görüntülerinin belirlenmesine, yorumlanmasına dair ne sistematik bir kuram ne de basit bir yol vardır. Daha karmaşık ve düzensiz yapılı biyolojik sistemlere ait görüntünün tanımlanması ve yorumlanması tabii ki basit kristal yapıların görüntülerinin tanımlanması ve yorumlanmasından daha zordur. Genellikle biyolojik örnekler düşük iletkenliğe sahiptirler. Biyolojik maddelerin düşük iletkenliği STM için tamamıyla nüfuz edilemez bir engel olmasa da bu görüntünün tanımlanması ve yorumlanması açısından sınırlayıcı olmaktadır.

2.4.3 Yüzey Değişikliği

STM yüzey özelliklerini çalışan bir teknik olmasının yanısıra birçok türden yüzey üzerinde değişiklikler yapılmasına veya yüzeylerin nanometre seviyesinde dağlanmasına yarayan bir tekniktir.

Yüzey değişikliklerini yapmadaki anahtar görev yine tarama ucundadır. Uç ve örnek arasındaki 1 nm civarındaki uzaklık elektronların örnek üzerindeki (veya uç üzerindeki) yaklaşık 1nm veya daha küçük bir ana dağılım bölgesi üzerinde dağılmasını sağlar. Bundan dolayı STM ile yapılan yüzey fabrikasyonu nanometre seviyesinde olabilmekte yani STM nanofabrikasyon yapabilmektedir. Hatta STM hassaslığı sayesinde tek bir atomun dahi yeri değiştirilebilmektedir. Böyle bir durum Şekil 2.13. de gösterilmiştir.



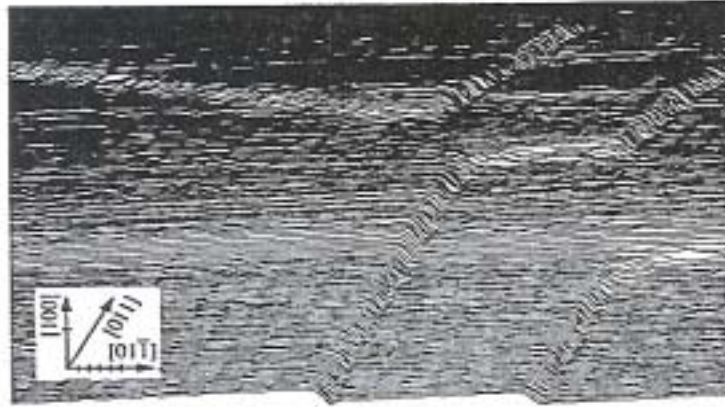
Şekil 2.13. Bakır üzerine demir çalışmaları.

İcadından (1982) bu yana nanofabrikasyon cihazı olarak STM doğrudan yüzey tanımlama, yer değiştirme, dağlama, tek atomların işlenmesi vb. alanlarda kullanılmıştır. Birincisi yüksek ölçekli entegre devrelerin büyüklüğünü mikrometre seviyesinden nanometre seviyesine litografi yöntemiyle, yer değiştirme ve dağlama yöntemiyle indirmek mümkündür. Yüzeye ait topografi STM ile incelenirken yada STM ile yüzey ve kalıp oluşturulurken eş anlı olarak oluşacak hatalar tespit edilebilir. Sonra bu kusurlar yine STM kullanılarak düzeltilebilir ve son halin görüntüsü alınabilir. Buda yüksek teknolojinin gayelerinden birisidir. Bir başka uygulama olarak uç örneğe degecek şekilde hareket ettirilerek STM ucunun yerel temas kuvvetleri ve elektrostatik kuvvetler oluşturacak küçük bir bölgede çentikler oluşmasını sağlayabilir. Son olarak; STM çok düşük enerjili (0-20 eV) elektron demetleri oluşturmasını sağlayabilmektedir. Bunun ne kadar önemli olduğunu

elektron göçü, bağ kopması ve kimyasal tepkimelerin 10 eV ‘ dan küçük aktivasyon enerjilerine sahip olduğu düşünüldüğünde anlaşılabilir.

2.4.4 Metal Yüzeyler

Metal yüzeyler hazırlanmaları diğer maddelere göre daha çok özen ve titizlik gerektiği için üzerinde az sayıda araştırmaların yapıldığı konular sınıfındadır. Au(100) yüzeyi ilk kez Binnig ve Rohrer tarafından çalışılmıştır. Yüzey üzerinde tek atomdan oluşan basamaklarla ayrılmış platolar gözlenilmiştir. Gözlenen Platolar Şekil 2.14. de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Au (100) yüzeyindeki düzlükler kademeli olarak bir atom yüksekliğinde artmıştır.

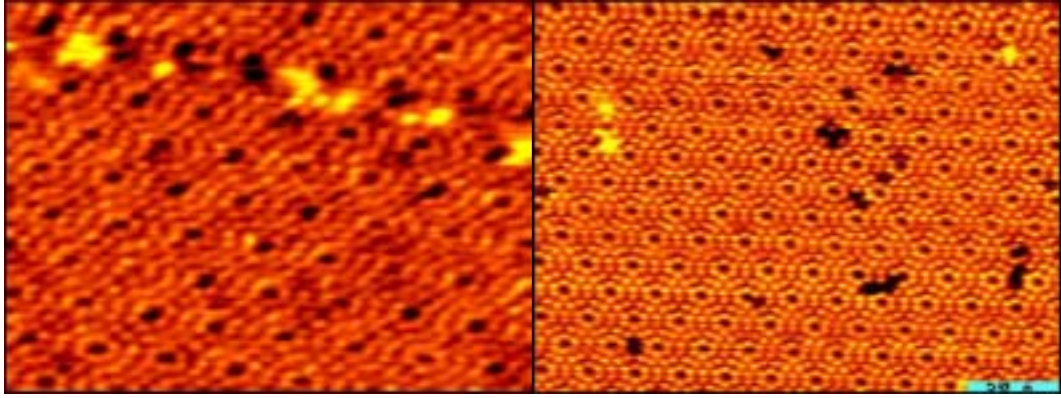


Şekil 2.14. Au(100) yüzeyine ait tek atomlu basamaklar.

1987 yılında Hallmark Au(111)-(1x1) yüzeyini havada ve UHV altında atomik çözünürlük seviyesinde görüntülemiştir. Örnekleri 2500Å kalınlıklı Altının 300 °C’ de saklanmış mika üzerine epilaksiyal buharlaştırma yer değiştirmesi yöntemini kullanılarak hazırladılar. Dalgalanmalar 30 mV’ luk uç öngerilimi ve 3nA’ lik tünel akımında 0,3 Å mertebesindedir. Bu denli büyük dalgalanmalar yüzeyin Fermi seviyesi yakınlarında olduğu yorumuyla açıklanmıştır. Ek olarak Wintterlin STM kullanarak Al(111) yüzeyinin atomik seviyede görüntülemiştir.

2.4.5 Yarı – İletken Yüzeyler

Yarı iletken yüzeyler genellikle STM ile araştırmak için mükemmel örnek olmuştur. Oldukça büyük miktarda deneysel ve kuramsal çalışmaya rağmen Si(111) – (7x7) yüzeyinin atomik yapısını çözmek ancak STM kullanılarak gerçekleştirildi. Binnig, Rohrer ve arkadaşları (7x7) lik birim hücrede en küçük yük yoğunluğuna sahip olacak şekilde 12 atom olduğunu gösterdiler. Si(111)' e ait görüntüler Şekil 2.15. de verilmiştir. Her köşe, etrafında maksimum altı simetriye sahiptir ve minimum model, deneysel yapaylıklardan kaynaklanan bazı kusurları ihmal edecek şekilde bir simetriye sahiptir.



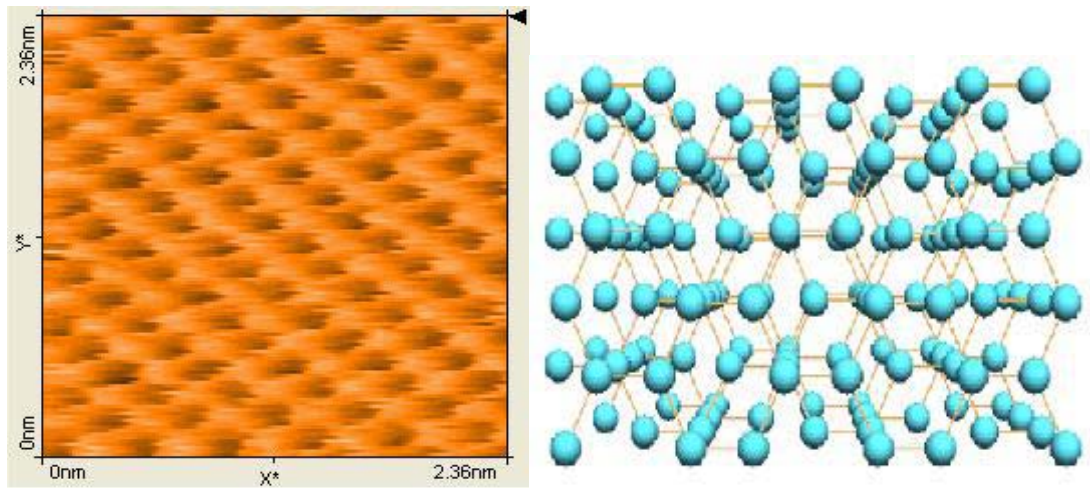
Şekil 2.15. 1000 ve 28 K de çekilmiş Si(111) yüzeyinin resmi.

J.Hammers atomik yerleriyle birlikte yüzey durumlarını taramalı tünelleme mikroskopisi ile tarama tünelleme spektrometresini birleştirerek tanımlanmıştır. Tromp, Hamers ve Demuth, Si(001) yüzeyini de görüntülemişler ve aynı iki molekülden oluşan daha büyük molekülleri gözlemlemişlerdir.

Feenstra, STM' nin atom seçici görüntüleme gücünü GaAs(110) – (1x2) yüzeyi üzerinde ilk gösteren olmuştur. Sonuç olarak Ga ve As atomlarının her ikisinin de görüntüleri kuramsal yaklaşımlarla karşılaştırarak Ga ve As bağlarının bükülme açısı tahmin edilmiştir. Bu, STM verisinin yüzey atomlarının düşey konumlarını belirlemek amacıyla kullanıldığı pek az durumdan birisidir.

2.4.6 Grafit Yüzeyler

STM çalışmaları için grafit çok popüler bir örnektir. Grafit yüzeyler STM ile havada, sıvıda ve vakum ortamında atomik çözünürlükte gözlenebilmiştir. Şekil 2.16. da laboratuvarımızda bulunan easyscan STM ile çekilmiş HOPG görüntüsü ile kuramsal görüntünün karşılaştırılması gösterilmiştir. Her iki resimde de baskın olan özellik, her hücrenin ortasında bulunan siyah alanlardır. Bu oralaradaki elektron yoğunluğunun az olmasından dolayıdır.



Şekil 2.16. EasyScan STM ve kuramsal HOPG görüntüsü.

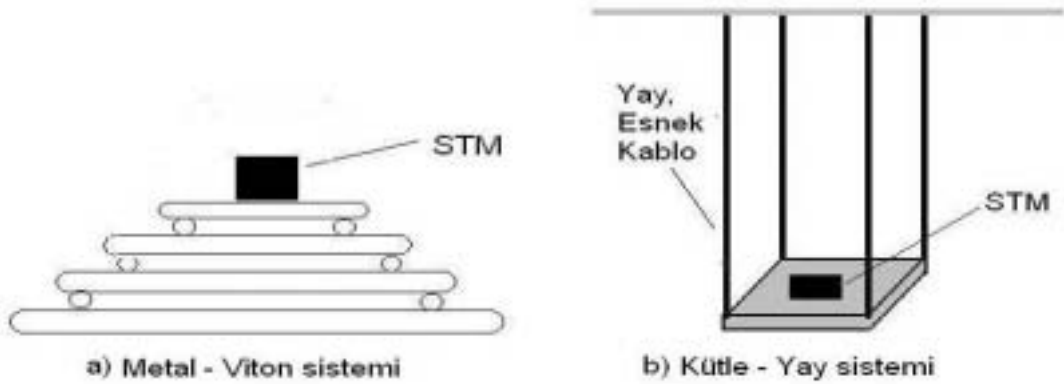
3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde tez çalışmasında izlediğimiz yöntemler ve yaptığımız çalışmalar ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. İlk olarak deneyde kullandığımız titreşim yalıtım sistemi daha sonra mekanik ve elektronik aksamlar açıklanmıştır. Ayrıca piezo kuramı ve uç hazırlama tekniklerine genişçe yer verilmiştir.

3.1 Titreşim Yalıtımı

Taramalı Tünelleme Mikroskobu mekaniksel ve elektriksel olarak gürültülerden yalıtılmış bir ortamda çalışmalıdır. Atmosfer ortamında çalışan birçok STM için performans bakımından bunlar büyük birer sorundur. Yalıtma sisteminizin performansı doğrudan mikroskobunuzun performansını etkiler. Bir STM için yalıtılması gereken temel gürültü türleri titreşim, ses ve elektriksel gürültülerdir.

Titreşim yalıtma sisteminin boyutlarını küçültmek için 1986 yılında Gerber, STM' yi viton pullarla birbirinden ayrılmış metal plakaların üstüne koyarak kullanılmasını önerdi. Bu düzenek halen bir kütle yay sistemi gibidir ama yüksek frekanslarda daha etkilidir. Rijid dizaynı bir STM ile birleşik viton – metal düzenekle daha yüksek bir performans sağlanır. Böylesi bir tasarım UHV – STM sistemlerinde genişçe kullanılır.

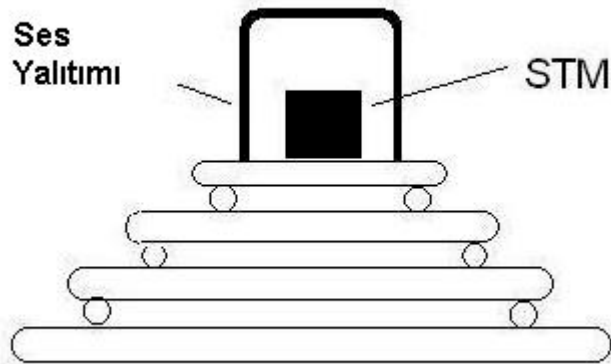


Şekil 3.1. Titreşim yalıtım sistemleri.

Daha iyi sonuçlar optik masalar veya titreşim yalıtımı için özel tasarlanmış masalar kullanılarak elde edilebilir. Tüm UHV odaları böylesi bir titreşim yalıtıcı masalara monte edilebilir. Titreşim genliğindeki ek bir azalmayı yer hareketlerinin az olduğu, bodrum katta bir mikroskopi odası sağlayarak elde edilebilir.

Mikroskobu binanın titreşiminden yalıtmanın bir diğer yolu ise kütle yay sisteminde olduğu gibi, elastik kablolarla mikroskobu asmaktır. Draha, 1986 yılında böyle bir sistemi STM için tasarlamıştır.

Çevresel gürültüler sadece bina titreşimlerinden değil seslerden de oluşur. Sesin kaynakları, deneyin eylemleri, klima, motorlar, bilgisayar benzeri aletler, güç kaynakları veya sokaktan gelen gürültüler olabilir. Vakum da çalışan bir STM böyle gürültülerden mükemmel olarak yalıtılmış olur. Atmosfer ortamında çalışan mikroskopların sestten korunmaya ihtiyacı vardır. Böyle ortamlarda çalışan mikroskopları sestten yalıtmanın en iyi yolu karmaşık yapıllı hoparlörlerde olduğu gibi kalın duvarlı bir kutunun içine koymaktır. Kutunun içerisindeki kapalı bir odanın uygun maddelerle düşürülmüş kendisine ait bir rezonansı vardır. Ses kayıt stüdyolarında olduğu gibi duvarlarda kullanılan köpük bu amaç için çok uygundur.



Şekil 3.2. Ses yalıtım sistemi.

Ses yalıtım kutusunun duvarlarını kaplamada yada kutunun inşasında metal kullanılırsa yada kutu metalden yapılırsa bu elektriksel gürültüden, hassas elektronik devreleri korumak için elektriksel zırh görevi yapar.

Bu tez çalışmasında “QUESANT Instrument Corporation” firmasının ürettiği AVIC (Acoustic Vibration Isolation Chamber) yalıtım kabinini kullandık. Bu kabin 0,55x0,55x0,58 m boyutlarında 30 kg ağırlığındadır. Titreşim yalıtımı olarak kütle yay sistemi kullanılmıştır. Yapıldığı madde ve şekli itibariyle titreşim, ses ve elektriksel gürültüyü yalıtabilir. 1 Hz’ lik rezonans frekansına sahiptir.



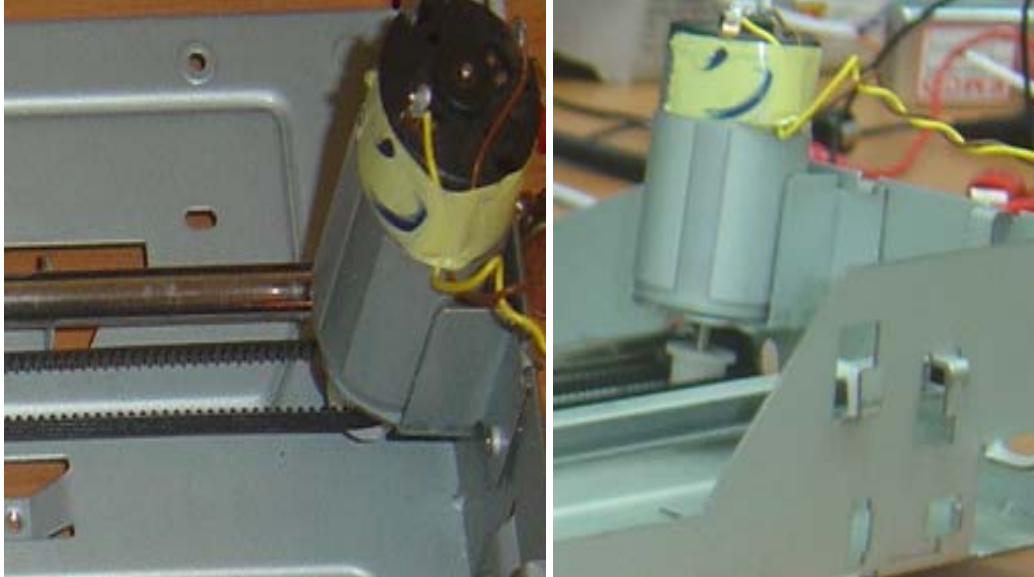
Şekil 3.3. AVIC yalıtım kabini.

3.2 Mekanik Tasarım

STM’ nin çalışma prensibi göz önüne alındığında Bölüm 3.1. de anlatıldığı gibi hassas bir mekanizma tasarlama için yaklaştırma sistemini kaba ve ince yaklaştırma olarak iki kısımda düşünülmüştür.

3.2.1 Kaba Yaklaştırma Sistemi

Kaba yaklaştırma sistemi olarak farklı tasarımlar kullanılır. Çoğu tasarımda hassas vidalarla, motor kontrollü lineer hareket ettiricilerle bazı tasarımlarda ise bobin üzerine konulan bir mıknatısa hareket vererek kaba yaklaşım sağlanır. Çalışmamızda DC motor ile sürülen bir mekanizma düşünülmüştür. Bu mekanizmanın görevi taranacak örneği, uç' a birkaç milimetre mesafe kalana kadar yaklaştırmaktır. Bu hareketi bir dişli mekanizması sağlar. Birbirine kayışla bağlanmış iki dişliden biri, yüzey ile 90° lik bir açı ile tutturulmuş DC motorun ucuna bağlıdır. Bu şekilde motordaki dönme hareketi doğrusal harekete çevrilmiş olur. Bu düzenek Şekil 3.4. de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. DC motora bağlı kayış mekanizması.

3.2.2 İnce Yaklaştırma Mekanizması

İnce yaklaştırmayı yapmak için “Micro – Controle” şirketinin ürettiği 20 mm toplam hareket serbestliğine sahip mikro hareket ettiricileri kullanılmıştır. Bu hareket ettiriciler kaba yaklaştırma mekanizmasına sabitlenmiştir. İnce yaklaştırma

mekanizmasının görevi osiloskop da görüntünün oluşana kadar örneğin uç' a yaklaşmasını sağlamaktır. Şekil 3.5. de ince yaklaşırma mekanizması için kullanılan hareket ettirici gösterilmiştir.



Şekil 3.5. "Micro – Controle" hareket ettiriciler.

İki tarafı bilyelerle desteklenen mekanizma, yaylar ile çelik bir kutuya yerleştirilmiştir. Ortadaki metal plaka, hassas bir vidanın dönmesiyle tek eksende hareket eder.

İnce yaklaşım mekanizmasına dikdörtgen bir mıknatıs yerleştirilmiş ve taranacak örnek bu mıknatısa tutturulmuştur. Bu şekilde ayrı bir örnek tutucu mekanizmaya (sample holder) gerek kalmamıştır. Tarama kafası ise iki hassas hareket ettiricinin 90° lik açıyla birbirine sabitlenerek oluşturulmuş X – Y eksenlerinde hareket

edebilen mekanizmaya yine bir mıknatısla tutturulmuştur. Böyle bir sistem taramaya başlamak için örneği uç' a hizalamayı ve tarama yerinin değiştirilmesi kolaylığını sağlamıştır.

3.3 Piezoelektrik Kuramı

Piezoelektrik madde STM için önemli bir parça olduğu için bu konu ile ilgili çalışmalar titizlikle yapılmalıdır bu yüzden aşağıda piezoelektrik maddelerin kullanım alanları, STM' ye uygulanma yöntemleri ve tarayıcı için yaptığımız çalışmalar anlatılmıştır.

Latince “bastırmak-press” anlamına gelen “piezo” ekinden türetilen “Piezoelektrik” kavramı basitçe, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilir. Piezoelektrik etki denen bu olgunun terside söz konusudur.

Piezoelektrik olguyu bulan kardeşler Pierre Curie ve Paul Jacques Curie, bazı kristal türlerinin, üzerine bir ağırlık konduğunda yada eksenleri boyunca sıkıştırıldıklarında, kristalin yüzeyleri arasında bir gerilimin oluştuğunu gözlemlemiş ve piezoelektrik etki adını verdikleri bu olayın keşfini bir yıl sonrada ters piezoelektrik etkinin açıklanması izlemiştir

Piezoelektrik' in matematiksel ve kristalografik kuramı ise, kesiften birkaç yıl sonra tamamlanmıştır. Curie kardeşlerin üzerinde çalıştıkları ilk kristal türleri, bugün de hala kullanılmakta olan, kuvars, turmalin ve rochelle tuzudur. Bugün daha fazla kristalin yani sıra birçok seramik malzeme de bu amaç için kullanılmaktadır.

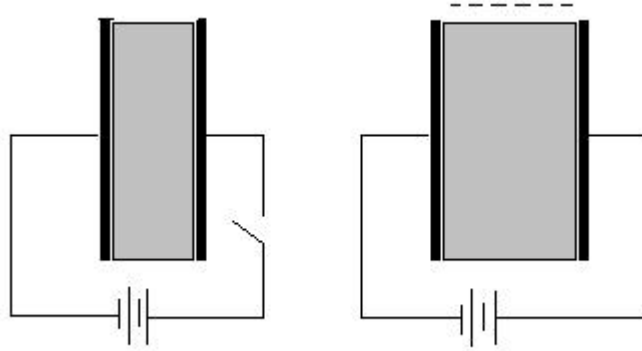
Günümüzde birçok kristalin piezoelektrik özelliğinden yararlanılmakta ve her birinin, kendine özgü özellikleriyle farklı kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Piezoelektrik kristaller, her tur elektronik donanımda, çakmaklarda, masa ve kol saatlerinde, akustik ve hassas ölçüm yapan mikroskoplarda, yüksek frekansta ses üretimi için

ultrasonik aygıtlarda, yari-iletken ve entegre devre teknolojilerinde, en hassas termometrelerin yapımında olduğu kadar, günlük hayatımızda kullandığımız daha bir çok aygıtta kullanılmaktadır. Kol saatlerinin içlerinde bulunan kuvars (quartz) kristaline kol hareketlerimiz vasıtasıyla basınç uygularız ve böylece saatin belli bir miktar enerji gereksinimini karşılamış oluruz. Kullandığımız çakmıklarda da durum böyledir; ateşleme butonuna basmamızla çakmak düzeneğinde bulunan kuvars kristaline basınç uygulamış oluruz ve oluşan elektrik akımı bir akı halinde geçiş yaparken gazı tutuşturur. II.Dünya savaşında uçaktan atılan bombaların patlama düzeneklerinde de piezoelektrik kristaller kullanılmıştı; bomba yere çarpınca, bombanın ucuna yerleştirilmiş kristal bir elektrik gerilimi oluşturuyor, bu da bombanın patlamasını sağlıyordu.

Bu denli çok kullanım alanı olmasına karşın daha fazla uygulama alanı için, yeni piezoelektrik malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar, katıhal fiziğinin gittikçe önem kazanan bir alanını oluşturuyor ve bu araştırmaların temel hedefi, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı ve daha küçük boyutlarda devre elemanları ile cihazlar; yani geleceğin teknolojilerini üretmek olmuştur.

Bilindiği gibi katı maddeler yüklü parçacıklardan oluşur ve bir kati madde içindeki negatif ve pozitif yüklü parçacıklar dengededir (yani kati madde elektriksel olarak yüksüzdür). Ancak mekanik bir yolla malzeme üzerine bir kuvvet uygulamak, yüzey yüklerinin oluşmasına neden olabilir. Bir kristalde piezoelektrik özelliğin gözlenmesi, bu yüzey yüklerinin oluşmasına bağlıdır. Fakat simetri özellikleri bu yüklerin oluşması için gerekli koşulları kısıtlamaktadır. Bu nedenle simetri merkezi olmayan kristaller bu iş için en uygun malzeme grubunu oluşturmaktadır. Elektriksel olarak yüksüz ve yapısal simetri merkezi bulunmayan bir kristale uygulanan basınç, artı yüklerin merkezi ile eksi yüklerin merkezinin birbirlerinden hafifçe ayrılmasına ve kristalin karşılıklı yüzeylerinde zıt yüklerin ortaya çıkmasına neden olur. Yüklerin bu şekilde ayrılması bir elektrik alanı oluşturur ve kristalin karşılıklı yüzeyleri arasında ölçülebilir bir potansiyel farkı oluşur. Piezoelektrik etkiyi ifade eden bu sürecin terside geçerlidir. Ters piezoelektrik etkide de, karşılıklı yüzeyleri arasına bir elektrik

gerilimi uygulanan bir kristalde boyutsal bir şekil değişimi oluşmaktadır. Bu durum Şekil 3.6. de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Piezoelektrik maddeye gerilim uygulanması.

Yüksek performanslı STM' ler için örnek yüzeyine dik doğrultuda (z yönünde) 0,01nm' lik, yanal doğrultularda da (x, y eksenleri) yine 0,1 nm' lik bir çözünürlük aranır. Uç' un bu kadar dar tolerans aralığında ki kontrolü için sıradan mekanik cihazlar kullanmak tatmin edici olmayacaktır. Piezoelektrik seramikler bu yüzden tam x, y ve z hareketini ve uç yaklaştırmasını yapmak üzere elektro-mekanik dönüştürücüler olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Çok yakın geçmişte, yukarıda anlatıldığı gibi, kurşun zirkonat titanat (PbZrTiO_3) (PZT) ve baryum titanat piezoelektrik özellikleri nedeniyle büyük ölçüde geliştirilmiştir. Bu maddeler, 1 mV – 1000 V aralığındaki gerilim sinyallerini 1 Å dan küçük bir hareketten birkaç mikrometrelik bir harekete kadar uzanan aralıktaki mekanik harekete çevirebilir.

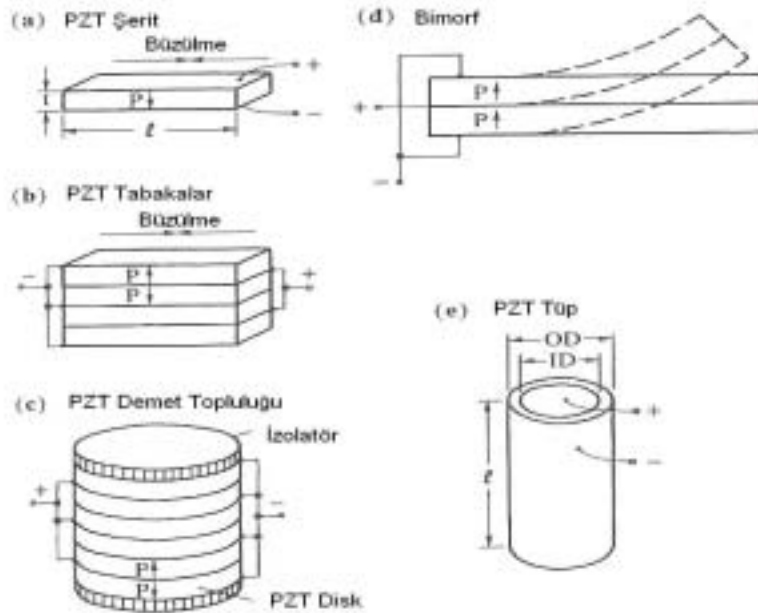
PZT piezoelektrik seramiklerin değişik özelliklere ve değişik bileşimlere sahip birçok çeşidi bulunmaktadır. PZT-4 ve PZT-8 tip piezo seramikler yüksek güç sığaları nedeniyle yüksek güç akustik iletimi ve yüksek gerilim üreteçlerde kullanılırlar. Düşük sıcaklıklarda PZT-8 en düşük sıcaklık değişimine sahiptir. Ek olarak yüksek sıcaklıklarda çalışabilmek için yüksek Curie sıcaklığına sahiptir. PZT-5A tip seramiğin yüksek hassasiyeti, yüksek bir dielektrik sabiti ve iyi bir zaman kararlılığı vardır. Bundan dolayı vericilerde kullanılabilir. PZT-5A ile

karşılaştırıldığında PZT-5H daha yüksek dielektrik sabitine sahip olması nedeniyle düşük frekanslarda çok iyi çalışır fakat sadece sınırlı sıcaklık aralığında etkilidir. Her iki PZT-5 tipi seramiğinde mekanik harekete karşı yüksek duyarlılığı vardır bundan dolayı STM nin oda sıcaklığında 3 boyutta çalışabilmesi için uygundur.

PZT seramikler şekil ve konfigürasyon bakımından şerit, tabaka, bimorf, demet ve tüp gibi birçok değişik türde üretime sahiptirler. Bunlardan bazıları Şekil 3.7. de gösterilmiştir. Yönler sırasıyla x, y ve z 'ye karşılık gelecek şekilde 1, 2, 3 alt indisleriyle temsil edilebilmektedir. Keyfi olarak, kutuplanma doğrultusunu artı elektrot dan eksi elektrot a doğru olacak şekilde seçip 3 ile gösteririz, l uzunluğunda, t kalınlığında bir şerit için, 1 yönündeki bir yer değiştirmenin genliği 3 yönündeki V geriliminin bir sonucu olarak üretilir. Yerdeğiştirme;

$$\Delta l = \frac{l \cdot d_{31} \cdot V}{t}$$

ile verilir. Burada d_{ij} , tüm dış baskılar sabit kabul edildiğinde, özel bir madde için (yani her seramikte değişir) bir eksen boyunca oluşan zorlamanın aynı yada farklı eksen boyunca oluşan elektrik alan büyüklüğüne oranı olan “piezoelektrik zorlanma çarpanı”dır.



Şekil 3.7. Çeşitli şekillerdeki PZT piezoelektrik seramikler.

Piezo sabiti olan d' nin alt indisi uygulanan elektrik alanın yönünü, ikincisi oluşan zorlanmanın yönünü gösterir. Zorlanma çarpanı eksi olduğunda alana dik bir büzülme, artı olduğunda 3 yönündeki (t kalınlığının ölçüldüğü yön) zorlanma için alana paralel bir genişlemeyi temsil eder.

$$\Delta t = d_{33} \cdot V$$

Bugün kullanılan bir çok çeşit seramik bileşimi olmasına rağmen birçoğu iki kategoride toplanabilir; sert ve yumuşak PZT malzemeler. Tüm PZT malzemeler için tipik d çarpanları Tablo 3-1 da verilmiştir.

Tablo 3-1 PZT seramiklerin yapısal özellikleri.

| Materyal özelliği | PZT-4 | PZT-5A | PZT-5H | PZT-8 | PZT-4D |
|--|-------|--------|--------|-------|--------|
| $d_{31} \text{Å/V@293}^\circ\text{K}$ | -1.27 | -1.73 | -2.62 | -.95 | -1.35 |
| $d_{33} \text{Å/V@293}^\circ\text{K}$ | 2.95 | 3.80 | 5.83 | 2.20 | 3.15 |
| $d_{31} \text{Å/V@4.2}^\circ\text{K}$ | --- | -0.31 | -0.33 | --- | --- |
| $d_{33} \text{Å/V@4.2}^\circ\text{K}$ | --- | 0.69 | 0.74 | --- | --- |
| Dielektrik sabiti K^T_3 | 1300 | 1725 | 3450 | 1050 | 1450 |
| AC depoling alanı kV/cm rms | 10 | 7 | 4 | 15 | 10 |
| Young modülü 10^{10} N/m^2 | 8.1 | 6.3 | 6.3 | 8.5 | 7.5 |
| Curie Sıcaklığı $^\circ\text{C}$ | 320 | 350 | 190 | 300 | 320 |
| Isıl iletkenlik $\text{W/m}^\circ\text{C}$ | 2.1 | 1.5 | 1.5 | 2.1 | 2.1 |
| Isıl genişleme katsayısı ppm/ $^\circ\text{C}$ | --- | --- | 4.7 | 3.0 | --- |
| Yoğunluk g/cm^3 | 7.5 | 7.5 | 7.45 | 7.5 | 7.6 |
| Mekaniksel Q | 400 | 100 | 65 | 960 | 600 |
| Poisson oranı | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |

Bir bimorf yapı Şekil 3.7. de gösterildiği gibi iki PZT şekil arasına bağlanmış ince metal şeritli bir sandviç yapıyı yapıyı temsil eder. Bimorflar bir ucundan tutularak dış bir elektrik alana maruz bırakılırsa PZT elementlerin uzunlamasına büzülme veya genişmesine bağlı olarak diğer uçtan 100 µm' ye varan ölçülerde bükülürler. Bununla birlikte bu gibi cihazlar mekanik kuvvetten yoksundurlar ve doğal olarak düşük rezonans frekanslarına sahiptirler. Yüksek mekaniksel kuvvet oluşturmak bimorfu iki ucundan destekleyip yerdeğiştirmeyi şeridin ortasından başlatmakla sağlanabilir. Bu halde ifade anlama gelir;

$$\Delta x = \left(\frac{3}{8} \right) \frac{d_{31} \cdot V \cdot l^2}{t^2}$$

ikinci denklemden görülmektedir ki PZT malzemenin kalınlığında her hangi bir yöndeki değişim sadece uygulanan gerilimin fonksiyonudur. Kalınlığın önemi yoktur; mutlak uzama miktarı Δt sadece gerilime bağlıdır. Bu yüzden t yada l' nin ölçüldüğü yönde daha büyük bir yerdeğiştirme sağlamak için tıpkı Şekil 3.7. de gösterildiği gibi disk şekilli yada şerit şekilli piezoelektrik elementlerin demetini toplamak gerekir. Toplam genişleme miktarı o zaman her bir elementin genişleme miktarının toplama olacaktır ve N_d disk sayısı olmak üzere;

$$(Demet _ Genislemesi) = d_{33} \cdot N_d \cdot V$$

yukarıdaki denklemin ima ettiği gibi büyük yerdeğiştirme ancak yeteri kadar ince disklerden oluşan küçük bir demetle ulaşılabilir. 3 denkleminin gösterdiği gibi, bir şerit geometrisi için bir volt başına en büyük genişleme l/t oranı en büyük olduğunda elde edilir. Ne yazık ki çok ince şeritler yapmak hareket ettiricilerin yumuşamasını ve uzamasını yüklediklerinde kabarma (bükülme) eğilimi göstermesine yol açmaktadır. Kuvvetlerini ve sertliklerini arttırmak için, her biri volt başına bireysel şeritlerle aynı genişleme sahip ince katmanla kaplı (lamine edilmiş) yapılar oluşturmak amacı ile zıt kutupları yan yana gelecek şekilde birbirlerine bağlanabilirler.

Böyle bir lamine yapının boyunca meydana gelecek değişiklik;

$$\Delta x = \frac{l \cdot d_{31} \cdot V}{t}$$

ile verilir. Özel bir uygulama için şerit ile laminant topluluk arasındaki seçime, eğer yeterli genişmeye ulaşmak isteniyorsa yüklenmeye dayanıklılık kapasitesi göz önüne alınarak karar verilecektir.

Tekbir piezoelektrik element için iç ve dış yüzeylerinde birer elektrot bulunan tüp şeklindeki yapı oldukça yaygındır ve bu yapıda kutuplanma yönü tüpün duvarına doğrudur. Sonuç olarak eksensel genişleme;

$$\Delta l = \frac{d_{31} \cdot V \cdot l}{OD \cdot ID}$$

ile verilir ve burada l tüp eksen uzunluğu, OD ve ID sırasıyla tüpün iç ve dış çaplarıdır. Radyal genişleme ise;

$$\Delta r = d_{33} \cdot V$$

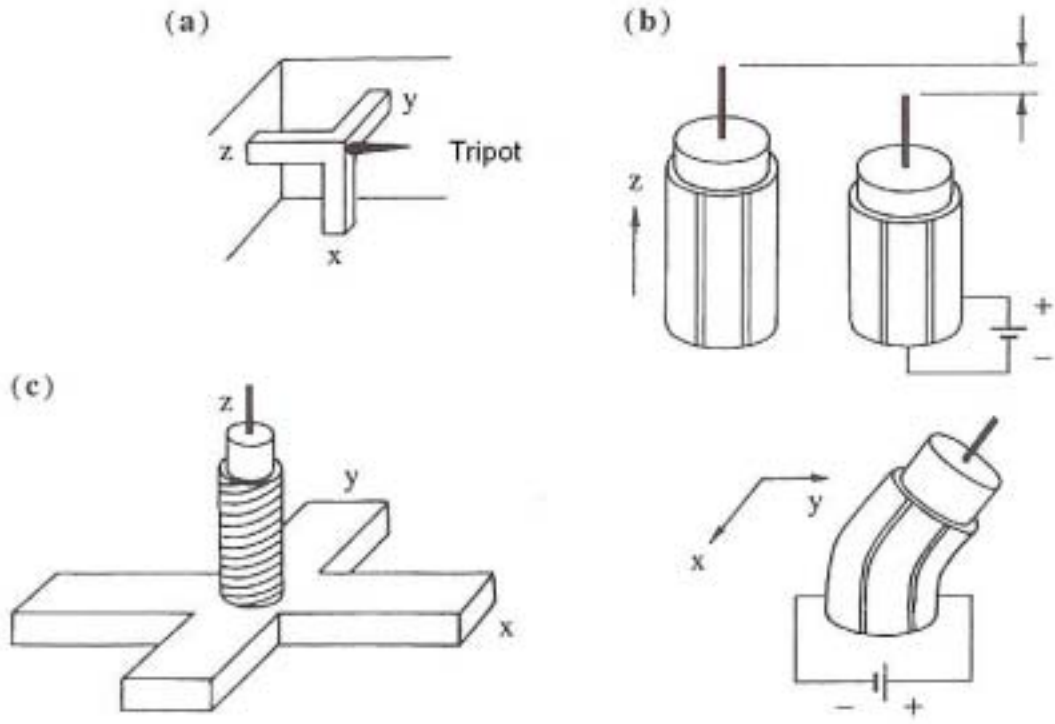
dir.

Daha yüksek düzgünlükte duvar kalınlığı için tüp şeklindeki piezoelektrik element gereklidir. Aksi halde eşit olmayan çevrel duvar kalınlığı tüpün, bir yanı diğer yanından daha çok hareket ettiği için bir eğilmeye neden olacaktır.

3.3.1 Üç Boyutlu Tarayıcılar

3 boyutlu tarayıcı ucu örnek yüzeyi boyunca (x ve y ekseninde) hareket ettiren ve uç-örnek mesafesini kontrol eden cihazdır. Temel olarak piezoelektrik seramik 3

boyutlu tarayıcılar üç şekilde olur; 3 ayaklı tarayıcı, tek tüp tarayıcı, unimorf tarayıcı ve birleştirilmiş tüp tarayıcı.

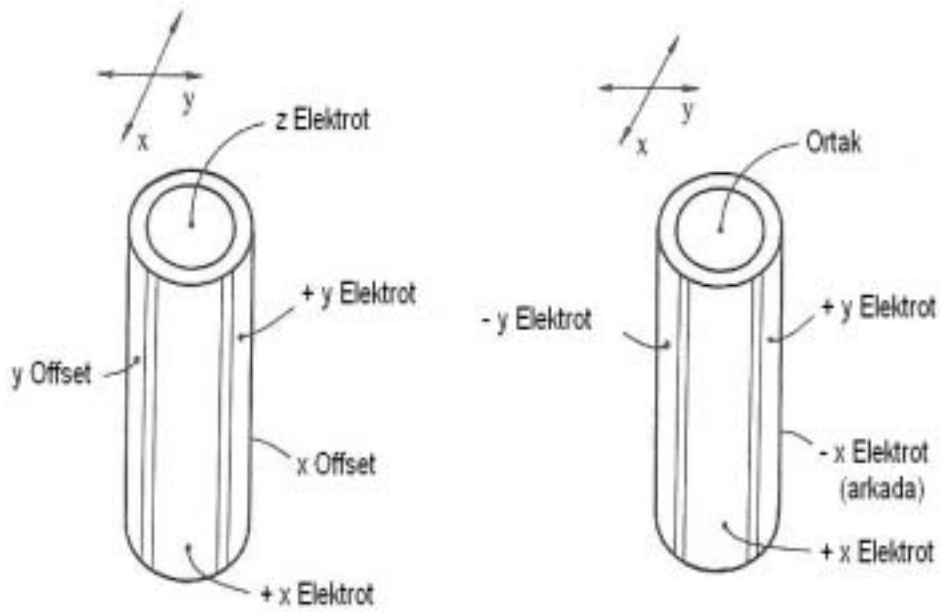


Şekil 3.8. Sık kullanılan 3 boyutlu tarayıcılar.

Tarayıcılara ait ilk tasarım, birbirine dik piezo çubuklardan oluşan üç ayaklı düzeneğdir. STM uç' unu üç ayaklı düzeneğin tepesine yerleştirilir. Çubukların birbirlerinden bağımsız genişleme ve büzölmeleri uç' u x, y, z yönlerinde hareket ettirir. PZT-5H' den yapılmış 13 mm uzunluklu, 2mm yükseklikli ve 2 mm genişlikli üç ayaklı düzeneğin tepesi, volt başına her yönde 1,5 nm hareketlidir ve 5 kHz' lik rezonans frekansına sahiptir. Çubukların tüplerle yer değiştirilmesi rezonans frekansını yükseltir.

Basit bir piezoelektrik element olarak tüplerin şeritlere göre büyük bir avantajı, yapısal sertlikleridir. Yoğun bir tek tüpten oluşan ilk tarayıcı STM' de ilk kez Binnig ve Smith tarafından uygulandı. PZT tüpün dış elektrotu eşit dört parçaya ayrılırken iç elektrot bölünmez. Karşılıklı parçalara farklı gerilimler uygulamak suretiyle tüpün,

eksenine dik bir şekilde bükülmesi sağlanır. İç elektrota bir gerilim uygulayıp tüm tüpün kendi z eksenini doğrultusunda bükülmeleriyle hareketi sağlanırken dik x – y doğrultularında ki hareket birliğiyle 90 derecelik açı yapan çeyrek parçaların üzerine düşen gerilimin kontrolüyle sağlanır. Diğer iki dış elektrot ise şasi seviyesinde olabilir veya bunlara tarama penceresi seçimi amacıyla bias DC gerilimi uygulanabilir. Şekil 3.9. tüp tarayıcı elektrotları üzerine düşen gerilim uygulamalarına dair bazı şekilleri göstermektedir.



Şekil 3.9. Tek tüpte oluşan tarayıcıya çeşitli şekillerde uygulamaları.

Tüp tarayıcılar büyük yerdeğişirmeler, düşük parazit ve yüksek rezonans frekansına sahiptirler. Tek tüpe göre yapılan bir tasarımın rezonans frekansı;

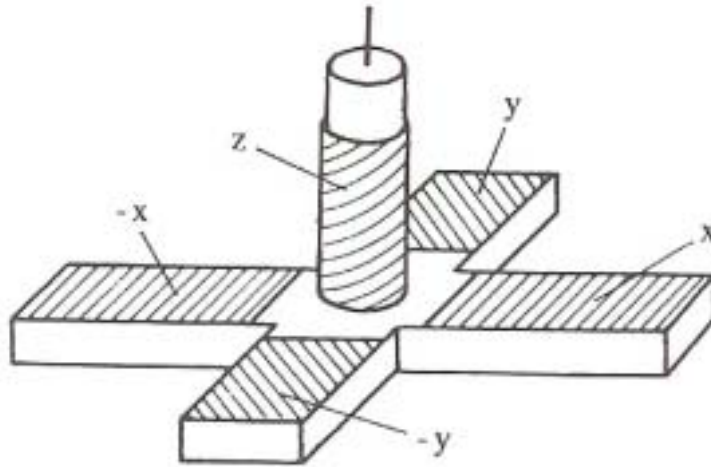
$$f_r = 1,08 \times 10^5 \cdot l^{-2} \cdot \sqrt{r_1^2 \cdot r_2^2}$$

ile gösterilir. Burada l cm cinsinden tüpün boyu, r_1 ve r_2 ise sırasıyla iç ve dış duvar yarıçaplarıdır. 12,7 mm uzunluklu, 6,35 mm çaplı ve 0,51 mm duvar kalınlıklı bir PZT-5H tüp için x,y ve z yönlerindeki tepki 5 nm/V dur ve bu tüp için tüp eksenine

paralel ve dik olan doğal rezonans frekansı sırasıyla 40 kHz ve 8 kHz dir. Küçük boyutlu ve yüksek rezonans frekanslı olduğundan bu tasarım oldukça yaygın hale gelmiştir.

Birbiriyle eşit olarak bölünmemiş dış elektrotlar, eşit olmayan duvar kalınlıkları ve uç konumunun uç ekseninden sapması dik olmayan $x - y$ hareketine sebep olur. Bu yüzden tarayıcı olarak kullanılacak piezoelektrik seramik tüplerin çok yüksek hassaslıkla üretilmesi gerekir.

Var olan diğer bir tasarım ise $x - y$ tarayıcısı olarak artı yada çapraz şekilli piezoelektrik seramik madde kullanılanıdır. Z yönündeki hareket artı şekilli seramiğin merkezine yerleştirilen piezoelektrik tüp ile sağlanır. Düzenegi kontrol etmek için aynı genlikli ama ters işaretli gerilimler x , $-x$, y ve $-y$ elektrotlarına uygulanır. Bu durum Şekil 3.10. de gösterilmiştir.



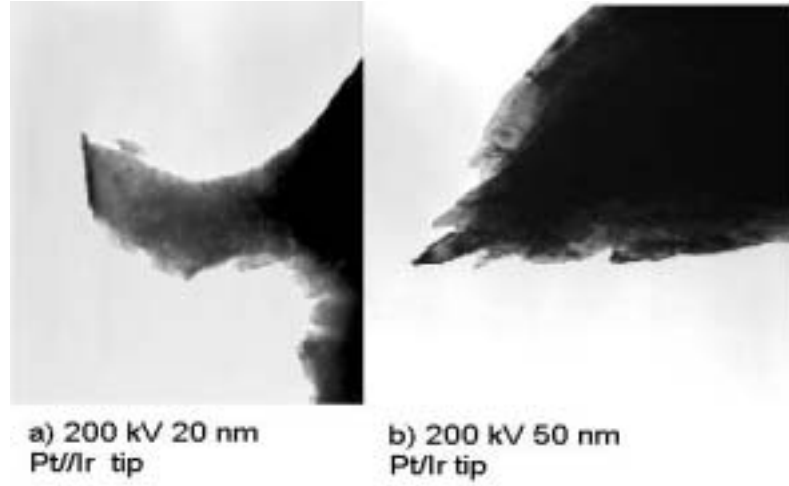
Şekil 3.10. Artı (yada çapraz) şekilli tüp tarayıcısı.

Simetrik olarak düzenlenen piezo bloklardan yapılan böyle bir tarayıcı ısı kayma etkilerini azaltmada oldukça başarılıdır.

Bir tarayıcı için birincil amaç tarayıcının verilen tarama aralığında yeteri kadar rijit olmasıdır. Özellikle tarayıcının birbirlerine dik her yöndeki rezonans frekansı önemlidir. Rezonans frekansının yüksek olması sadece tarama hızını sabitlemekle kalmaz (geri besleme performansı) aynı zamanda titreşime karşı rijitliğide belirler. İyi bir tarayıcı için diğer gereksinimler, yüksek çözünürlüğe sahip olması, taramada dikliği sağlaması ve doğrusal davranması yani hareket miktarının verilen gerilimle doğru orantılı olmasıdır. Doğrusallıktan kayma tarama tepkisinin gecikmesi ve tarayıcının şekil değiştirmesi, büyük alanların tarandığı ve elektrik alanın büyük olduğu durumlarda daha önemli hale gelir. Bu etkiler, gerilimden ziyade piezoelektrik maddeye uygulanan yükü kontrol etmekte; örneğin standart bir görüntüsünü alıp bozulma miktarını belirledikten sonra yazılım yardımıyla bozulmayı ortadan kaldırmakla veya optik bir almaç yada kapasitans sondası gibi almaçlarla x ve y eksenleri için bağımsız olarak kullanılarak en aza indirilir.

3.4 Uç Hazırlama

STM' den iyi sonuçlar alınabilmesi için sağlıklı bir tünel akımının oluşmasını sağlayacak iyi uçlar yapılması gerekir. Uç' un boyutu, şekli ve kimyasal kimliği STM taramasının sadece çözünürlüğünü ve şeklinin değil, ölçülen elektronik yapıyı da etkiler. Güvenilir bir STM taraması için en önemli görülen iki husus vardır. İlki; ucun atomik seviyedeki küçük ölçekli yapısı görüntü çözünürlüğü için anahtardır çünkü tünel akımı elektriksel boşalma mesafesiyle üstel olarak değişir. Kararlı bir işlem için iyi desteklenmiş ve en yakın atomik uzaklığa yaklaşması gerekir. Uç üzerinde birden fazla atom eş zamanlı tünel akımlarının oluşması, anormal görüntüleme olgularının meydana gelmesi demektir. Bu olay genelde “çift uç görüntülemesi” olarak bilinir. Son olarak ucun saf olması bir engel serisinin oluşmaması açısından önemlidir. Mesela bir tungsten oksit tabakasının etkin direnci arzulanan tünelleme aralığı direncinden çok daha fazla olabilir. Bu yüzden istenen tünel akımı oluşmadan uç ve örnek mekanik dokunmaya maruz kalabilir. Metalik olmayan bir uç ise STM tünelleme spektrumunun örneğin elektronik yapısını doğru vermemesine neden olur.



Şekil 3.11. STM tarama ucunun TEM görüntüleri.

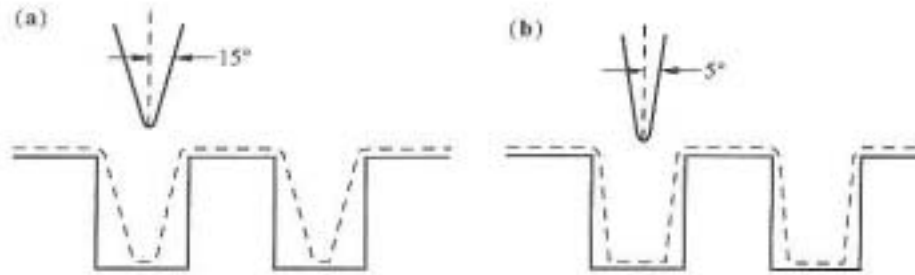
STM tarama uçları tipik olarak metal tungsten (W) telden, Platinyum-iridyum (Pt-Ir) telden veya altından (Au) mekanik öğütülmeye, keskinleştirilerek yada tel kesiciyle kesilerek, alan yayma/buharlaştırma, iyon öğüterek, kırma yöntemi veya elektromekanik dağlama yöntemi ile üretilir.

3.4.1 Pt – Ir Uçların Hazırlanışı

Mekanik olarak kesmek Pt – Ir uç hazırlamanın genel ve yaygın bir yoludur. Şekil değişikliğine rağmen birçok deney göstermiştir ki atomik çözünürlüğe ancak mekanik yöntemle hazırlanan Pt –Ir uçlarla ulaşılabilir. Buna ek olarak Pt – Ir uçlar CaCl/ H₂O/ HCl, NaCN/ NaOH, KCl/ H₂O/ HCl, NaCN/ KOH veya eriyik haldeki NaNO₃/NaCl gibi kimyasal çözeltilerle elektrokimyasal dağlamayla üretilebilirler.

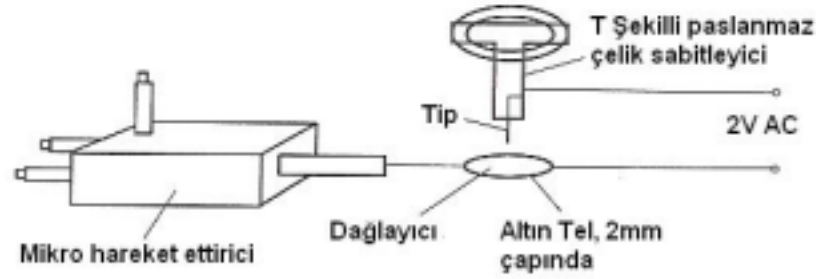
Yüksek topografiye sahip örnekler için çözünürlük gereksinimlerine genellikle katı bir şekilde uyulması gerekmemesine rağmen geniş alan taramaları uç morfolojisi üzerinde sınırlamalar getirmektedir. Böyle örnekler için uç şeklinin elde edilen görüntü içine olan bükülmesini en aza indirmek için küçük eğrilik yarıçaplı, simetrik geometriye sahip uçlara ihtiyaç duyarlar. Örneğin Şekil 3.12. uç geometrisinin 0,75

μm genişlikli $1 \mu\text{m}$ derinlikli görüntü profili üzerindeki etkisini canlandırmaktadır. Şekilde gösterildiği üzere yarıçapı 50 nm ve yarı koni açısı 15° olan uç, tabanı kare olan örneği, geniş olduğu için yeterli çözünürlükte tarayamamasına karşın yarıçapı yine 50 nm ve yarı koni açısı 5° olan daha dar uç daha kesin bir tarama yapabilmektedir. Örnekten anlaşılmaktadır ki örneği temsil eden bir STM görüntüsü elde etmek için uç geometrisi çok önemlidir.



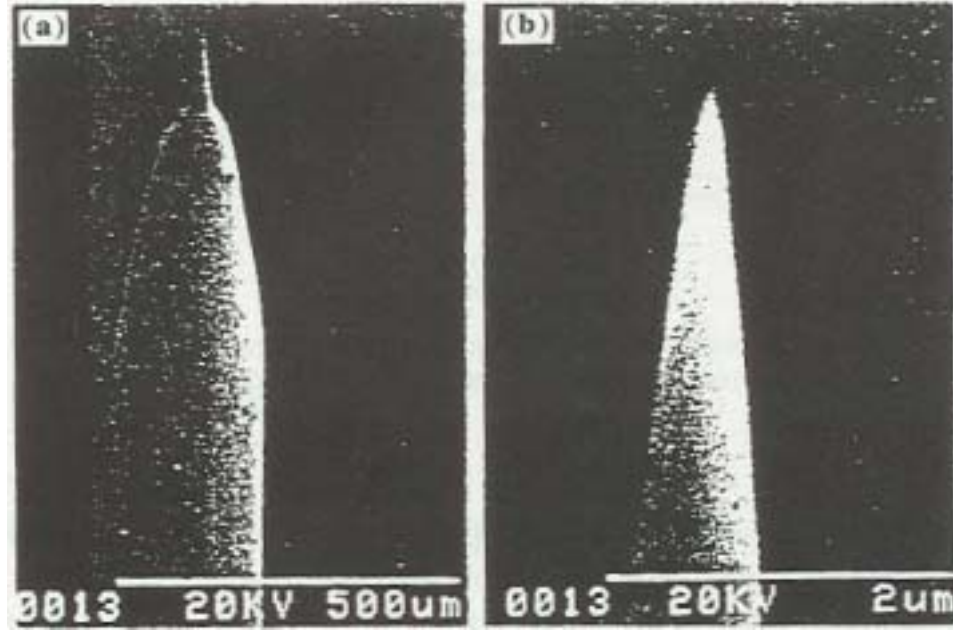
Şekil 3.12. Uç geometrisinin çözünürlüğe etkisi.

Dar ve derin oluklara sahip yüzeyleri tarama amaçlı özel şekilli uçlar üretmek için Musselman ve Russel iki aşamada küçük eğrilik yarıçaplı Pt – Ir uçların hazırlanışına dair bir yöntem geliştirdiler. Birinci dağlama basamağında $1,25 \text{ cm}$ uzunluklu, $0,2 \text{ mm}$ lik $\%80 \text{ Pt}$, $\%20 \text{ Ir}$ alaşımı Pt –Ir teli, doymuş $\text{CaCl}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{HCl}$ ($\%60 / \%36 / \%4$ hacim oranlı) dağlayıcı çözelti içinde AC 25 V ile beslenen C çubuk ile 5 dakika süreyle dağlanır. Böylece ucun sonunda önceki uzunca kısmı ince, sert yapılı bir uç elde edilir. İkinci basamak ucun bir Au ilmiği içinde tutulan dağlayıcı ince bir filmle mikro seviyedeki dağlanmasını içerir. Bu düzenek Şekil 3.13. de verilmiştir. Bir stereo mikroskop ve mekanik mikro konumlandırıcı yardımıyla ucun sonundaki ince kısım filminden geçirilerek inceltilebilir veya filmle kısa bir temasa maruz bırakılarak sivriltilebilir. Bu yolla üretilen bir uç küçük bir eğrilik yarıçapına ($<50 \text{ nm}$), yaklaşık 8° yarı koni açısına ve düz bir yüzeye sahip olur.

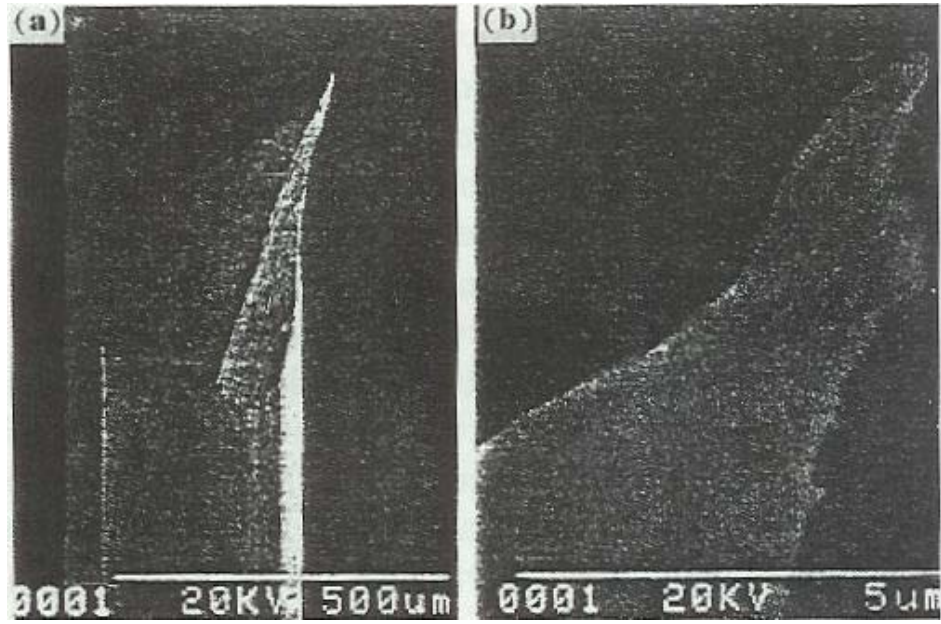


Şekil 3.13. Musselman Russel uç dağlama düzeneği.

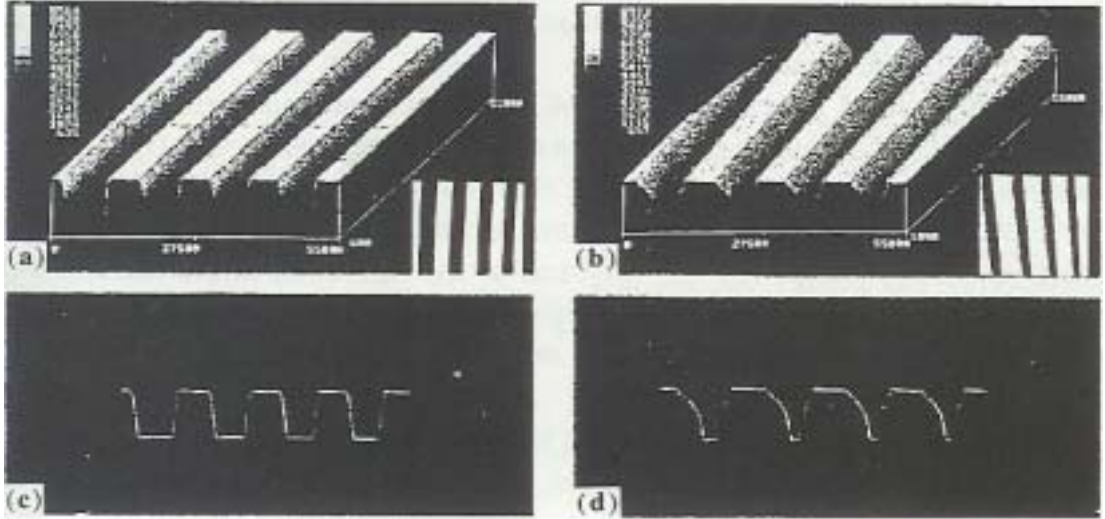
Şekil 3.14. , Musselman ve Russel yöntemi ile elde edilen tarama ucunun SEM görüntüsü, Şekil 3.15.' de görülen mekanik kesme ile elde edilen Pt – Ir ucun SEM görüntüleri, Şekil 3.16. , Au kaplı bir PMMA litografik test örneğinin sırasıyla bu iki yöntemle hazırlanmış Pt – Ir uç ile elde edilmiş resimleri gösterilmektedir. Oluklar $0.75 \mu\text{m}$ genişlikte ve $1 \mu\text{m}$ derinliktedir. Elektrokimyasal dağlama ile üretilen Pt- Ir uçtan elde edilen üstten görünüm ve çizgi taramasına göre (Şekil 3.16. a,c) oyukların yukarı ve aşağı genişlikleri neredeyse aynıdır. Buna karşın, mekanik kesme ile üretilen bir Pt – Ir uçtan elde edilen üstten görünüş ve çizgi taramasına (Şekil 3.16. b,d) göre kesilerek hazırlanan uç oyuk tabanına ulaşır oldukça kesin bir derinlik taraması yapmasına rağmen ucun düzensiz şekli ve kalınlığı STM görüntüsünü bozacak şekilde görüntüye dahil olmuştur ve bunun yanında oyuk tabanının genişliği gerçek genişliğin üçte biri olarak görülmektedir. Birbirinden oldukça farklı geometrik şekillere sahip Pt – Ir uçlar kullanılarak yüksek topografili bir örnekten elde edilen STM görüntülerinin karşılaştırılması kontrollü geometriye sahip uçların kullanılmasını güvenilir ve işlenebilir görüntülerin elde edilmesi için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.14. Musselman ve Russel yöntemi ile elde edilen uç' un SEM görüntüsü.



Şekil 3.15. Mekanik kesme yöntemi ile elde edilen uç' un SEM görüntüsü.



Şekil 3.16. Au kaplama PMMA litografik test örneğinin STM görüntüsü.

Her iki çeşit tarama ucunun yüzeyine ait kimyasal bir analiz göstermektedir ki; yüzeyler, kalınlığı birkaç Å ile verilen bir karbon tabakayla kaplanmaktadır. Bu nedenle öncül üretim prosedürü yüzey kimyasını geliştirmek için elektrokimyasal dağlama esnasında karbon tabakasını oluşumunu engelleyecek yada kirlenmeyi takip edecek önlemler alınmalıdır. Karbon kalınlığının kalınlığı iyon işleme yöntemi yada oksitleyici alev kullanarak sınırlı bir şekilde azaltılabilir. Ne yazık ki iyon işleme süreci yavaş çalışır ve uç başına 30 dakika gereklidir. Alev sıcaklığının dikkatli ayarlanması bile karbon tabakasını kalıcı olarak oksitlemek, uç şeklinin erimeden dolayı değişmesi ve yeniden kristalleşmesi nedeniyle oldukça zordur. Bu yüzden karbon kirlenmesi olabildiğince dağlama esnasında önlenmeye çalışılmalıdır. Suda kolayca çözünen ve karbonik asidi oluşturan karbon dioksit, suyunkinden yüksek bir buhar basıncı vardır ve bu yüzden uçları durulamak ve dağlayıcı çözeltiyi hazırlamak için kullanılan suyu sırasıyla kaynatıp soğutarak bu durum aşılabılır. Mikro cilalama basamağı esnasında havadaki CO₂' nin uç ve dağlayıcı ince film tabakasıyla teması, cilalama işlemini N₂ atmosfer altında bir kutu içinde yapmayı gerekli kılar.

3.4.2 STM Uçlarının Hazırlanışı İçin Diğer Yollar

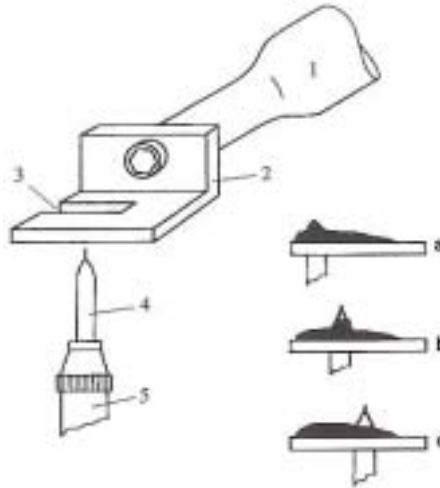
Yeniden üretilebilir keskin uçlu Mo uçlar uygulanan AC gerilimin büyüklüğü, dalga şekli, faz açısı, frekans ve dalga sayısı kontrol edilerek üretilebilirler. İyon işleme ve bazı teknikleri tek W kristallerinden uç hazırlamak için kullanılmıştır. Grafit üzerinde atomik çözünürlüğe ulaşabilen uçlar kalem uçlarında bulunan kurşundan ve koloidal yapıda grafit kaplı tungsten içeren altın bir tel, bileşimi %50 HCl, %25 yüksek saflıkta etil alkol ve %25 gliserin olan dağlayıcı madde içerisinde dağlanır. Burada altın tel anot diğer bir parça altın yada paslanmaz çelik tel katot gibi davranır. Elektrotlar arasına DC 7 V gerilim uygulanır.

STM' nin elektrokimyasal bir ortamda katı/sıvı arayüzlerini incelemek için kullanıldığı durumda uç ve örnek arasındaki akımın tümü Faraday yük transfer akımından meydana gelir. Elektro kimyasal çalışmalarda kullanılan ideal bir uç, kimyasal ve elektrokimyasal yönden, uç' un en son kısmı hariç, bir yalıtıma sahip olmalıdır. İyi bir yalıtım Faraday kaçak akımını ve sonuç olarak gürültüyü indirger. Oluşan kaçak akım uç öngerilimi, çözeltinin yapısı ve pH değeri gibi etkenlere bağlıdır.

Yalıtım maddesi olarak cam, poly ve apiezon mum kullanıldığı bilinmektedir. Heben yalıtım işini, iç yarıçapı 1,5 mm olan damla şeklindeki bir Pt telin üzerine cam koyup onu erime sıcaklığına kadar ısıtarak yapmıştır. Daha sonra elektrokimyasal dağlaması yapılmış Pt – Ir ucu eriyik haldeki cam içine daldırarak ve erime sıcaklığıyla daldırma hızını kontrol ederek cam yalıtımlı uç elde etmiştir. Çıplak metalin en sonundaki yüzey alanı $<1 \text{ nm}^2$ dir. Aynı yolla uç, poly erime sıcaklığına kadar (483 K üzerine) ısıtılarak da yalıtılabilir. 0,1 M $(\text{Fe})\text{CN}_6^{3-}$ içeren 1 M NaCl ve 0,1 M $(\text{Fe})\text{CN}_6^{4-}$ içeren sulu 1 M NaCl çözeltilerinde yapılan denemeler yalıtımın kaçak akımını etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir. Ayrıca çözeltiler altında atomik çözünürlükte grafit görüntüleri alınmıştır.

Diğer bir ümit vadeden yalıtım, Apiezon mum olarak görülmektedir. Bu yolla uç yalıtımı için aparat ve tekniği Şekil 3.18. de gösterilmektedir.

Alanı 1 cm^2 ve kalınlığı $1,5 \text{ mm}$ olan bakır bir tabaka Şekil 3.17. deki gibi yatay halde tutulup lehim makinesi ile Apiezon mumu eritecek kadar ısıtılır. 1 mm genişlikli dikdörtgen yarık bakır levhanın ortasından ucuna kadar uzanır. Elektrokimyasal yolla dağlanmış bir uç yarığın alt ucundan hareket ettirici yardımıyla taşınır. Uç önce ısıl dengeye ulaşip düzgün bir ize sahip olması için mum içinde hareket ettirilir. Sonra mumun içinden geçecek ve eriyiğin üst yüzeyini delecek şekilde yükseltilir. Eğer uç mumun çok sıcak bir kısmından mumu delip dışarı çıkarsa uç yüzeyinde çok çok az bir kaplama olur yada uç çıplakmış gibi olur. Eğer uç eriyiğin daha soğuk bir yerinde mumu delip dışarı çıkarsa üstünde bir mum damlası kalır. Bu iki bölge arasında bir yerde mumun ucu tamamen yalıtıldığı bir nokta vardır. Yalıtılmış uç oluk dışına yan yan ve ucun en sonunu etkilemeden kaydırılır. Mum kaplı uçlar cam veya poly kaplı uçlara göre daha az kırılğan olmaktadır.



Şekil 3.17. Uç yalıtımı için kullanılan düzenek.

Diğer çeşit uçlar STM' nin sondalama yeteneğini oldukça arttırmıştır. Aslında alışılmışın dışındaki uçlar yeni çeşit maddelerin araştırılması konusunda önderlik edebilir. Nanouçlar konusunda yapılan buluşlar SPM uçları hazırlamada alternatif yöntemler sağlamıştır.

Yaptığımız çalışmalarda, STM çalışmalarının çoğunda kullanıldığı gibi %80 Pt - %20 Ir alaşımı uç kullandık ve uç hazırlama yöntemi olarak kesme işlemini

uyguladık. İyi kalitedeki yan keski ile uç' u belirli bir açıyla tutup keserek daha keskin bir uç hazırlamış olduk. Bu yöntem Şekil 3.18. de gösterilmiştir.

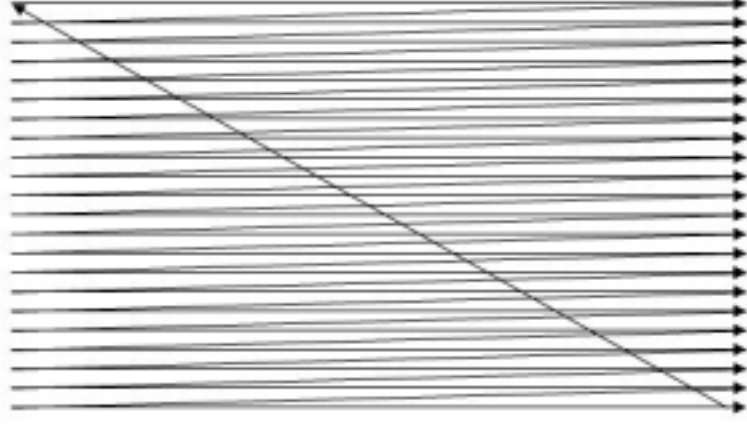


Şekil 3.18. Kesme yöntemi ile uç hazırlama.

3.4.3 Görüntüleme sistemi

Elde edilen z sinyalini görüntüleyebilmek için osiloskop kullanılmıştır. Osiloskop' da x, y sinyallerinin girdiği iki ana kanal ve z sinyalinin girildiği osiloskop' un arkasında bulunan bir adet kanal vardır. Sinyal jeneratöründen çıkan sinyaller tarama devresinden geçmeden osiloskop' a girer ve osiloskop X-Y modunda çalıştırılır. Geri besleme devresinde yükseltile z sinyali ise bu iki sinyalin üzerine bindirilir. Bu şekilde örneğin tarandığı esnada, akımdaki değişiklikler osiloskop' da parlak veya sönük olarak görülür. Bu şekilde görüntü elde edilmiş olur. Tarama esnasında x ve y eksenlerine uygulanan sinyaller iyi seçilmelidir. Tarama yüzey üzerinde satır satır yapılmaktadır. Yüzey üzerinde taranan her satırdan sonra bir adım aşağı inilerek

diğer satır taranır. Bu tarama çok hızlı bir şekilde yapılır ve tarama ilk başladığı yerden tekrar başlar. Böylelikle ekranda sürekli bir görüntü oluşur.



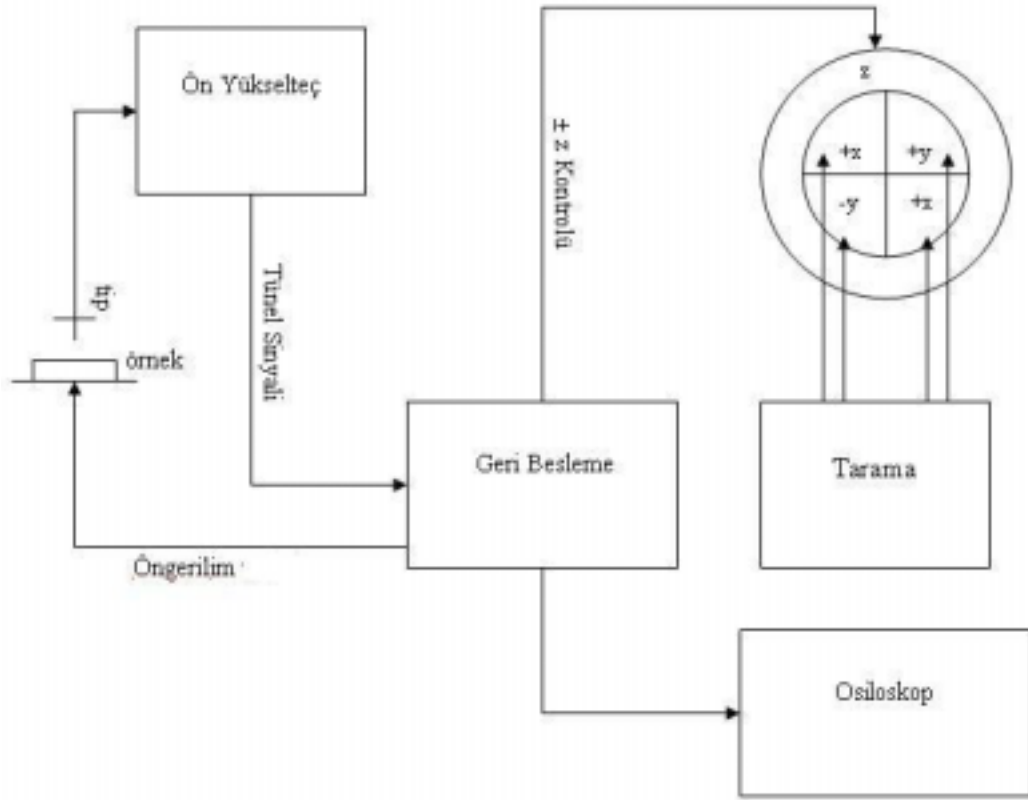
Şekil 3.19. STM'nin tarama prensibi.

4. BULGULAR

4.1 Elektronik Aksam

STM ve çoğu sonda mikroskoplarının çalışma prensipleri benzer olduğu için benzer yapılarda elektronik kontrol sistemlerine sahiptirler. Mikroskop yapında kullanılan yükselteçler ve tarayıcıyı süren güç kaynağı kullanılan malzemelere göre değişiklik gösterir.

Taramalı Tünellemeli Mikroskop angström altı seviyede çalışan elektro-mekanik bir sistemdir. Uç – örnek mesafesinin ayarı, geri besleme kontrol devresiyle sağlanır. Uç – örnek arasındaki mesafe belli bir değere piezo seramikler kullanılarak ayarlanır. Bundan dolayı geri besleme kontrol devresi tünel akımını işleyen elektronik bir devre ile yapılır.



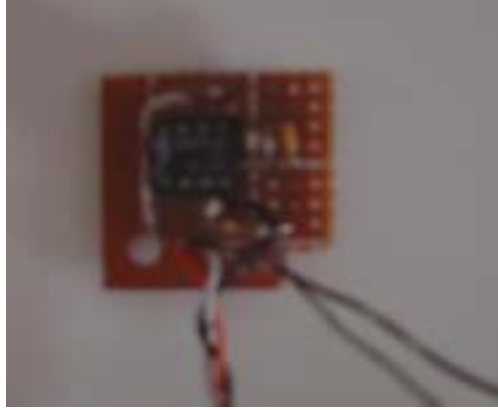
Şekil 4.1. STM' nin çalışma şeması.

Tünel akımı orantılı bir gerilim seviyesine çevrilir. Sonuç, bir referans gerilimi ile karşılaştırılarak hata sinyali bütünleştirilir. Kapalı döngü kontrol sisteminin kazancı ayarlanır ve referans gerilimi seviyesiyle tanımlanmış sabit Tünelleme akımında sabit tutulmak üzere z – piezosu geri beslenir. STM' nin sabit akım işletimi böyle çalışır. Tarama işlemi örneğin uç ile olan mesafesini sabit tutarak da yapılabilir. Bu temel elemanlarla sabit akım, sabit yükseklik, spektroskopik ölçmeleri içeren deneyler gerçekleştirilebilir.

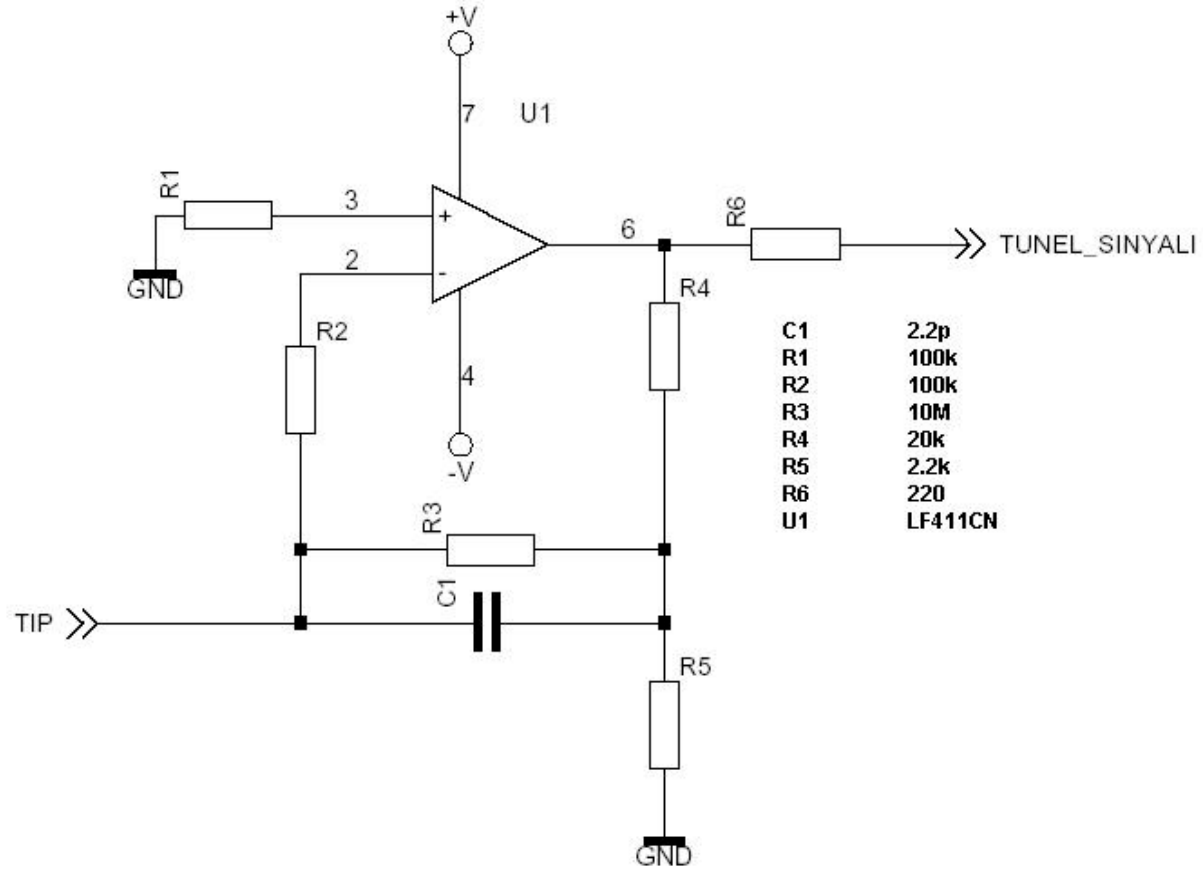
Yaptığımız çalışmada STM' nin çalışma şeması Şekil 4.1. de görüldüğü gibidir. Kontrol elektroniği, Ön yükselteç devresi (Pre-Amp), geri besleme devresi (feedback), tarama devresi, motor kontrol devresi gibi ana bölümlerden oluşur.

4.1.1 Ön Yükselteç

Ön yükselteç devresi bir akım – gerilim yükseltecidir. Yükselteç sürekli olarak uç gerilimini toprak gerilimi seviyesinde tutmayı sağlar. Yükselteç olarak LF411CN entegre devresi seçilmiştir. Bu entegre devre için üretici firmanın yayınladığı katalog Ek-1 bölümünde verilmiştir. Devredeki $100k\Omega$ ' luk iki direncin konma sebebi uç değişiminde oluşacak bir kaçak akımdan yükseltecin FET (Field Effect Transistor) girişlerini korumaktır. Ön yükseltecin hemen sonundaki 220Ω luk direnç ise yükselticiyi salınım etkilerinden koruma amaçlıdır. Şekil 4.2. de kurulmuş, Şekil 4.3. de ön yükselteç devresinin şematik yapısı verilmiştir.



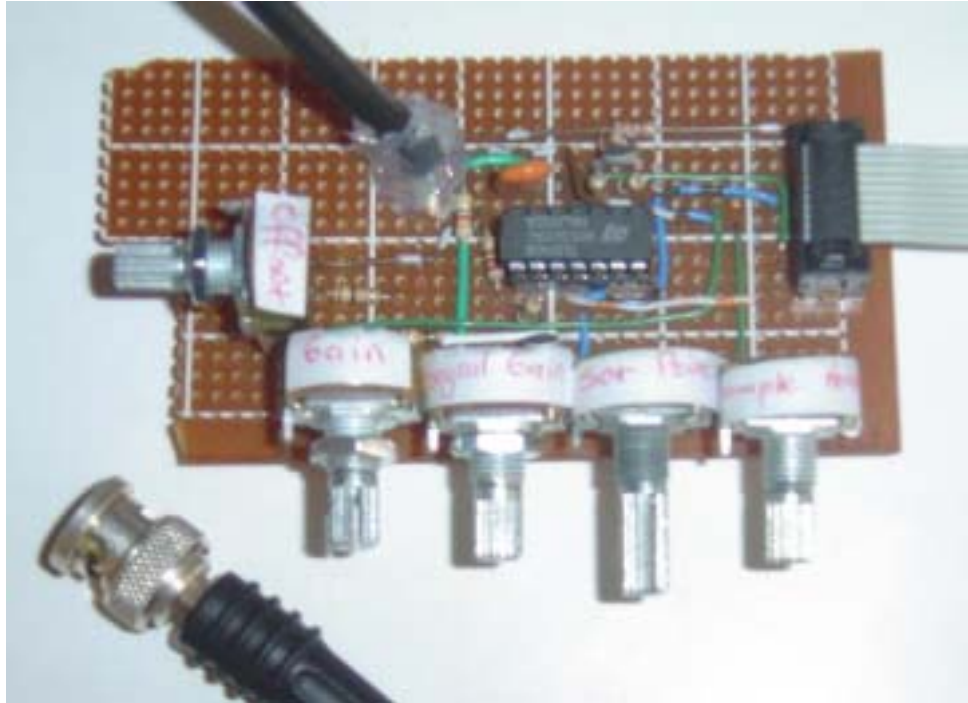
Şekil 4.2. Ön yükselteç devresi.



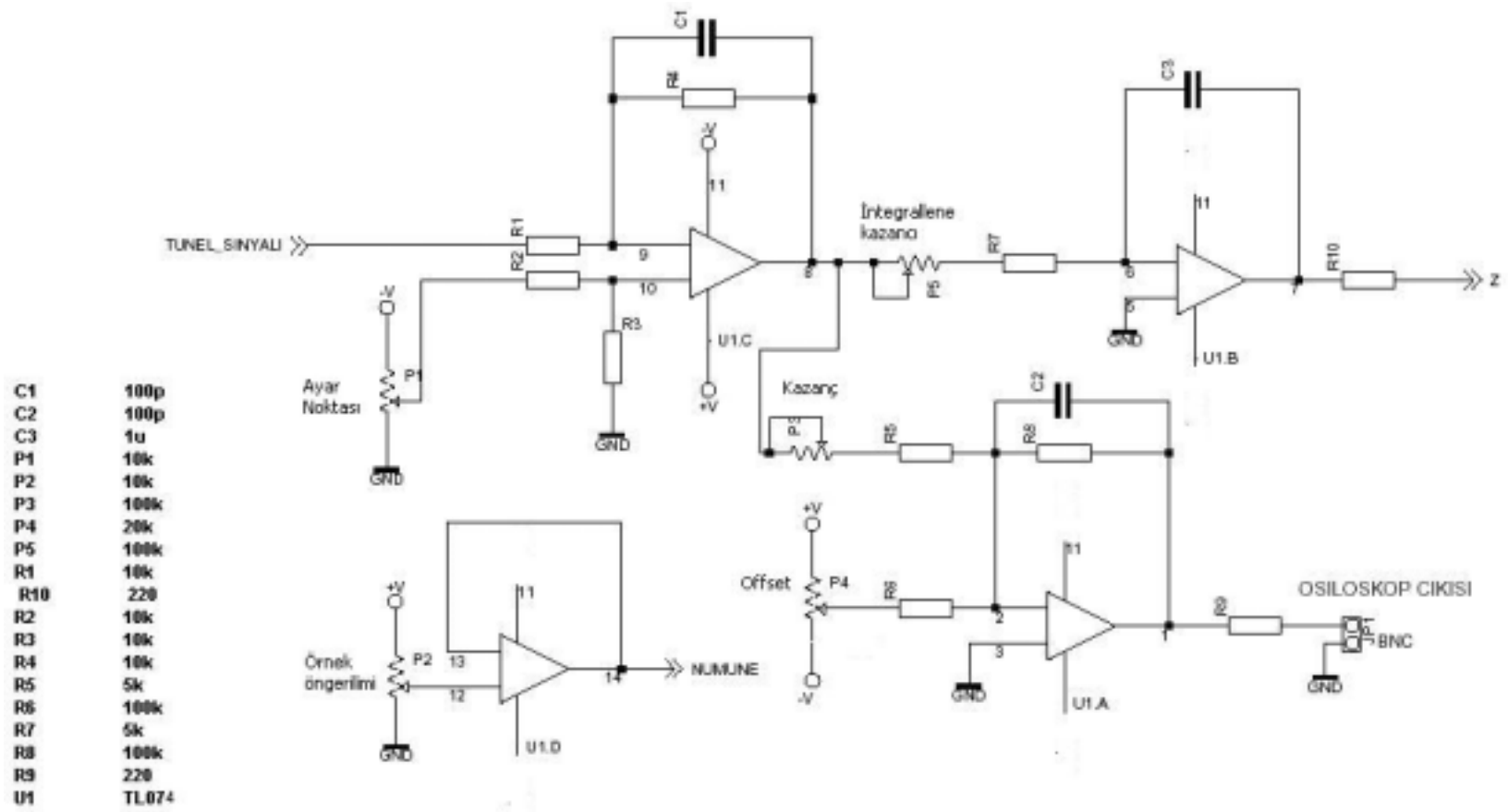
Şekil 4.3. Ön yükselteç devre şeması.

4.1.2 Yükselteç

Ön yükselteçten hemen sonra ise ayar noktasından tünel sinyali çıkarılarak bir hata sinyali üretilir. Ayar noktası ise potansiyometre yardımıyla ayarlanır. Geri besleme döngüsündeki diğer bir öge ise ayarlanabilir bir integrallenme periyoduna sahip olan integral yükselteçdir. Zaman sabiti Ohm cinsinden giriş direnci değerinin Farad cinsinden geri besleme kondansatörü değeri ile çarpımı ile bulunur. Bu devrenin sonunda yine salınımlardan korumak için 220Ω luk bir direnç eklenmiştir. Örnek öngerilimi bir gerilim izleyici devredir ve bu gerilim bir potansiyometre ile kontrol edilmiştir. Bu öngerilim geri besleme devresinde kullanılan TL074 entegresindeki boş yükseltici kullanılarak örneğe iletilmiştir. TL074 entegre devresi için üretici firmanın katalogu Ek-2 bölümünde verilmiştir. Bunun sebebi ise daha az gürültüyü azaltmaktır. Geri besleme devresindeki başka bir yükselteç ise osiloskop' a giden z sinyalinin parlaklığını kontrol eder. Bu parlaklık devredeki offset potansiyometresi ile ayarlanır.



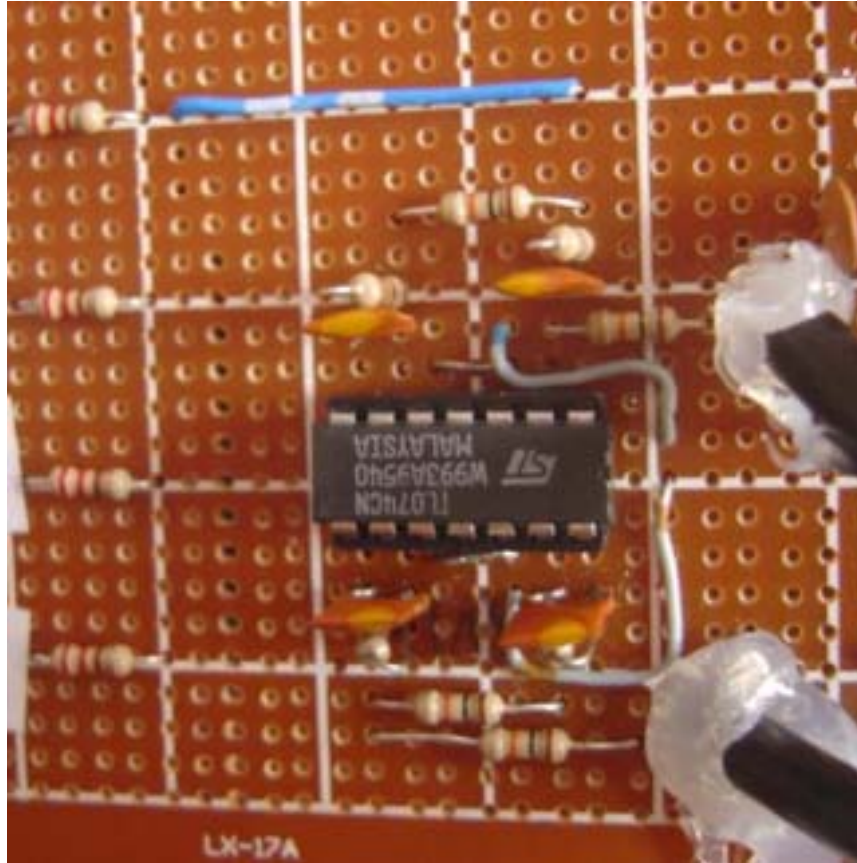
Şekil 4.4. Yükselteç devresi.



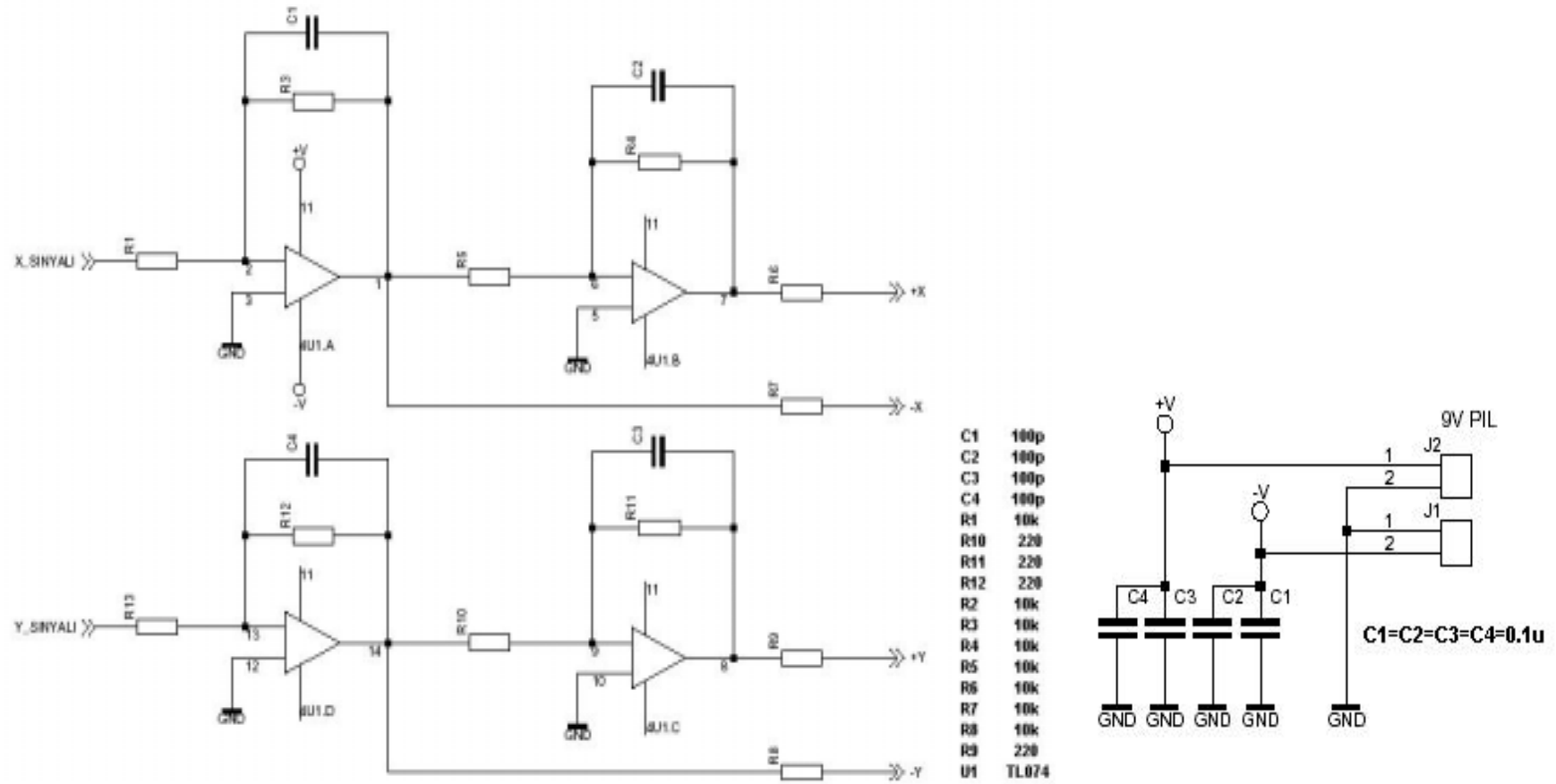
Şekil 4.5. Geribesleme ve Yükselteç devre şeması.

4.1.3 Tarama Devresi

Tarama kafasının, taramayı yapabilmesi için testere dişi sinyale gerek duyduğu düşünölmüştür. Bu sinyal X ve Y eksenleri için iki adet sinyal jeneratörü ile sağlanır. Uygulanan bu sinyaller taramanın yapılacağı devreye uygulanır. Bu devrede TL074 entegre devresindeki yükselteçler tampon olarak kullanılmıştır. Devreye giren sinyal bir tampondan geçer ve ikiye ayrılır. Bu iki koldan bir tanesi bir tampondan daha geçerek terslenir. Sonuç bu sinyaller $+x$, $-x$ ve $+y$, $-y$ eksenlerine gönderilir ve tarama sağlanmış olur. Şekil 4.6. da tarama devresi, Şekil 4.7. de ise tarama devresi şeması verilmiştir.



Şekil 4.6. Tarama devresi.



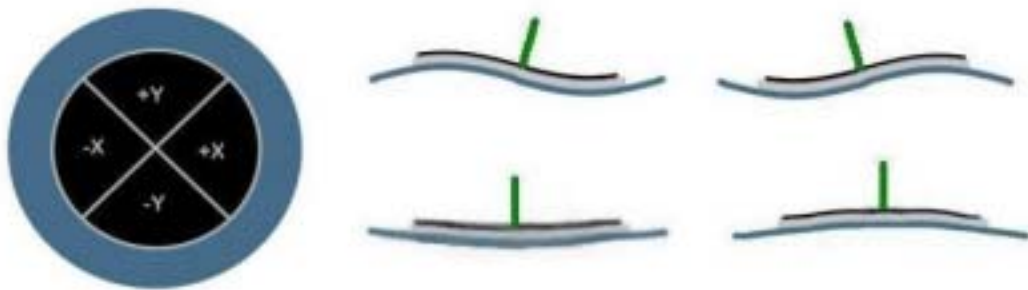
Şekil 4.7. Tarama ve Güç devre şeması.

4.1.4 Motor Denetimi

Kurulan kaba yaklaştırma sistemini kullanırken örneğin uca çarpması, motorun hızının ayarlanamaması ve ileri – geri yönlerdeki geçiş esnasındaki zorlukların aşılabilmesi için DC motor kontrol devresi tasarlanmıştır. Kontrol devresi ile yapılan kumanda bir güç kaynağı ile çalıştırılmıştır. Bu kumanda sayesinde ileri – geri yöndeki hareketi iki adet düğme ile motorun hızı ise devreye eklenen potansiyometre ile ayarlanmıştır.

4.2 Tarama Kafası

Bu tez çalışmasında tarama kafasını yaparken elektronik buzzer olarak adlandırılan, Unimorph hareket ettirici kullanılmıştır. Pul şeklindeki bu buzzer'ın seçilmesinin sebebi 9V' luk pille çalışması ve bu gerilim ile çok büyük alanları tarayabilmesidir. Bu buzzer uygulanan volt başına yaklaşık 0,20 μm lik bir hareket sağlar. İlk durumda tek eksende hareket eden buzzer'ın $\pm X$ ve $\pm Y$ yönlerinde hareket edebilmesi için eş boyutlarda dört parçaya ayrılmıştır. Bu dört elektrotun tümüne aynı anda gerilim uygulayarak $\pm Z$ yönlerindeki uç ile örnek arasındaki mesafenin kontrolü sağlanmıştır. Tarayıcının hareket eksenleri Şekil 4.8. de gösterilmiştir. Burada parçalar arasında kısa devre olmaması ve her parçanın eşit büyüklükte olması önemlidir. Çünkü farklı boyutlardaki parçalar düzgün bir tarama yapılmasını önler ve tarama alanından sapmalar olur.



Şekil 4.8. Unimorph tarayıcının hareket eksenleri.

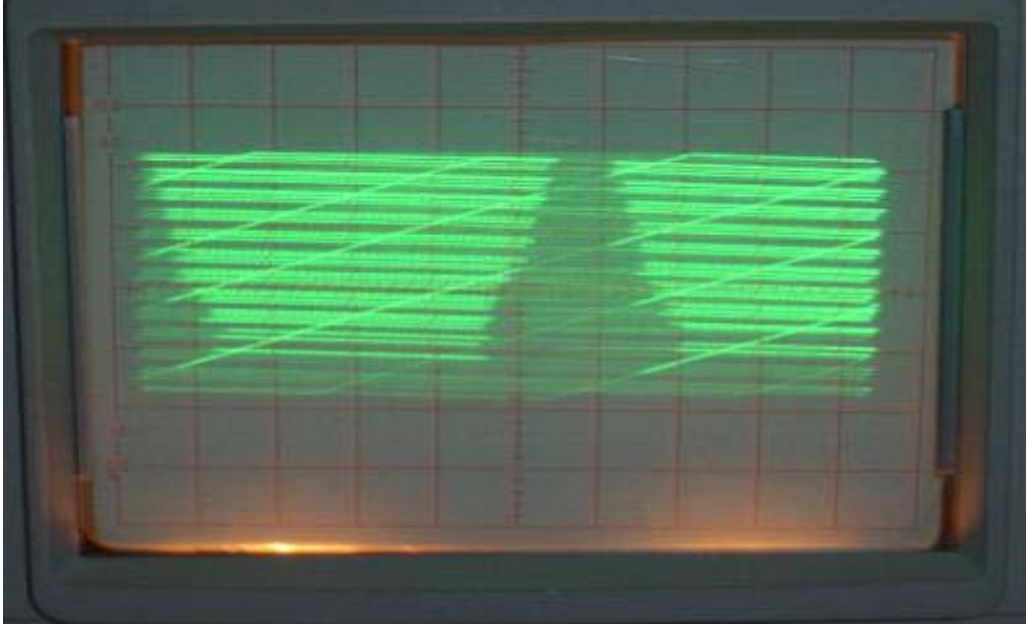
Her parçadaki elektrotlara kablo bağlantı yapmak gerekmektedir. Lehim piezoelektrik maddenin özelliklerini kaybettireceği için kablolar gümüş boya ile yapıştırılmış ve kuvvetli yapıştırıcı ile kablolar tarayıcıya sabitlenmiştir. Bu elektrotlara gerilim uygulandığında hareketin uç' a tam olarak iletilmesi ve sarsıntı olmaması için tarayıcı iki adet somunu arasına sıkıştırarak sabitlenmiştir.

Tarama kafasını tamamlanması için son olarak uç tutucuya (tip holder) ihtiyaç vardır. Bu düzemeği birbirinden ayrılmış dört parçanın tam merkezine yerleştirmek gerekir. Uç tutucu olarak huni şeklindeki bir plastik aksama ucu tutturmak için bir konnektör monte edilmiş ve bu konnektöre uç kablosu lehimlenmiştir. Yaptığımız bu uç tutucu en sonunda tarayıcının tam merkezine kuvvetli yapıştırıcı ile tutturulmuştur.

4.3 Tarama Görüntüleri

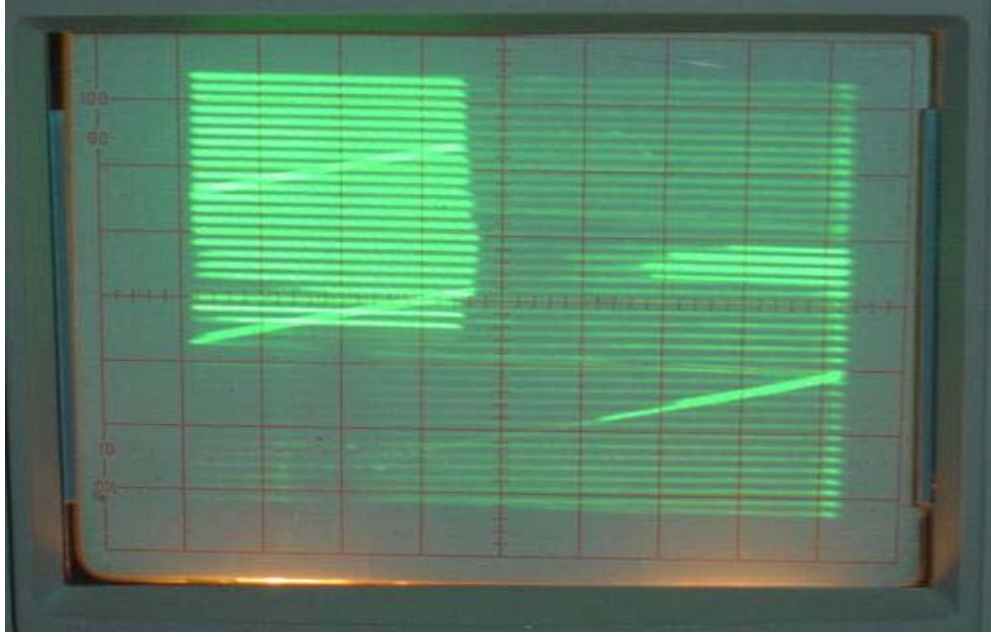
Materyal ve Metod kesiminde anlatılan yöntemlerin uygulanması ile yapılan ve atmosfer ortamında çalışan STM' ile grafit üzerinde deneyler yaptık. Yapılan bu deneylerde tarama kafasına uygulanan gerilimi değiştirerek farklı genişliklerdeki alanların taranmasını sağladık. Deneyler esnasında deneyin yapıldığı ortamın ve yanında elektrikle çalışan aletlerin deneye olumsuz etkileri gözlenmiştir. Elde edilen görüntülerin oluşturulmasında bu etkiler en aza indirilmeye çalışılmıştır. Yinede resimlerde titreşim ve elektriksel gürültü ve tarama esnasında son satırdan ilk satıra dönüş sinyalleri göz ardı edilmelidir.

Aşağıda osiloskop yardımıyla aldığımız görüntüler verilmiştir. Görüntüler sonucunda grafit yüzey üzerindeki yükseklik farklılıkları görülmüştür. Görüntülerdeki parlaklıklar sönük yerlerden daha yüksek ve elektron yoğunluğunun daha fazla olduğu yerleri göstermektedir. Görüntülerde de bazı yarıklar ve yükseklik farklılıklarından doğan şekiller gözlenmiştir.



Şekil 4.9. 5 V' luk piezo geriliminde HOPG görüntüsü – 1.

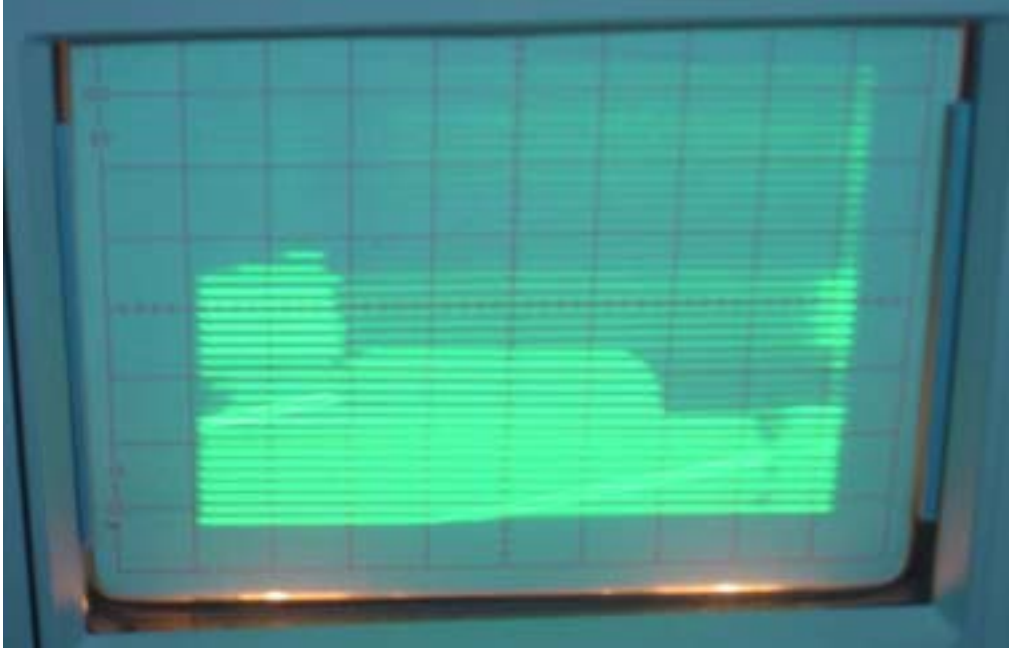
Şekil 4.9. da tarama kafasına uygulanan gerilim 5 V tur. Bu gerilime karşılık tarama kafası yaklaşık 2 – 3 μm ' lik bir uzama gerçekleştirir. Elde edilen görüntünün dar çıkmasının sebebi osiloskobun volt/div ayarından kaynaklanmaktadır. Bu tarama esnasında osiloskobun kanal 1 girişi 0,5 volt/div kanal 2 girişi 1 volt/div' e ayarlıdır. Yüzeyin en üstünden başlayan tarama en alta geldiğinde tekrar en üste gelir. Bunun çok hızlı tekrarlanmasından dolayı eğik çizgiler oluşur. Bu çizgiler şekilde görülmektedir. Ayrıca genel olarak baktığımızda parlak olan yerler daha yüksek yerleri gösterdiği için, görüntüde iki tepe arasındaki bir çukur temsil edilmektedir.



Şekil 4.10. 8V' luk piezo geriliminde HOPG görüntüsü – 1.

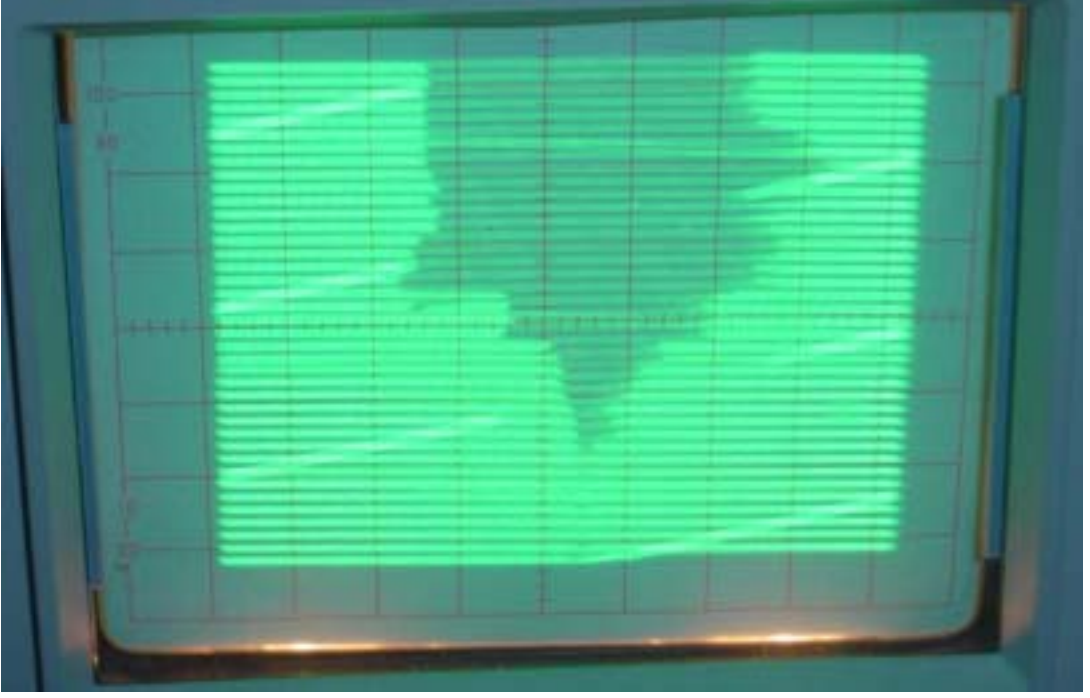
Şekil 4.10. da yine 5 V luk bir gerilim uygulanmıştır. Buzzer'ın $0,2 \mu\text{m}/\text{V}$ luk hareketi göz önüne alınırsa yine yaklaşık $2 - 3 \mu\text{m}$ lik bir uzama gerçekleşir. Yaklaşık $9 \mu\text{m}^2$ bir alan taranmıştır. Bu görüntü elde edilirken x sinyal jeneratörü 300 Hz, y sinyal üretici 9 kHz' e ayarlanmıştır Şekil 4.10.' nun sağ tarafındaki yatay yüksekliğin ucundaki parlaklığın katmanlar halinde azaldığı görülür. Bu bize o noktadaki yüksekliğin katmanlar halinde azaldığını gösterir.

Şekil 4.11. de tarama kafasına 8 V luk bir gerilim uygulanarak yaklaşık $3,5 - 5 \mu\text{m}$ lik bir uzama sağlanmıştır. Buna karşılık yaklaşık $13 \mu\text{m}^2$ lik bir alan taranmıştır. Bu görüntü alınırken osiloskobun 1. ve 2. kanalları 1 volt/div ayarlanmış x sinyal jeneratörü 300 Hz, y sinyal jeneratörü 9 kHz sinyal üretmektedir. Görüntünün altındaki en parlak iki çizgi uygulanan sinyallerin tekrarlanmasından kaynaklanan çizgilerdir. Görüntünün üst taraflarındaki az parlak kısımlar elektriksel gürültülerden, kablolar arasındaki bağlantılardan veya çalışan devrelerdeki salınımlardan kaynaklanmaktadır.

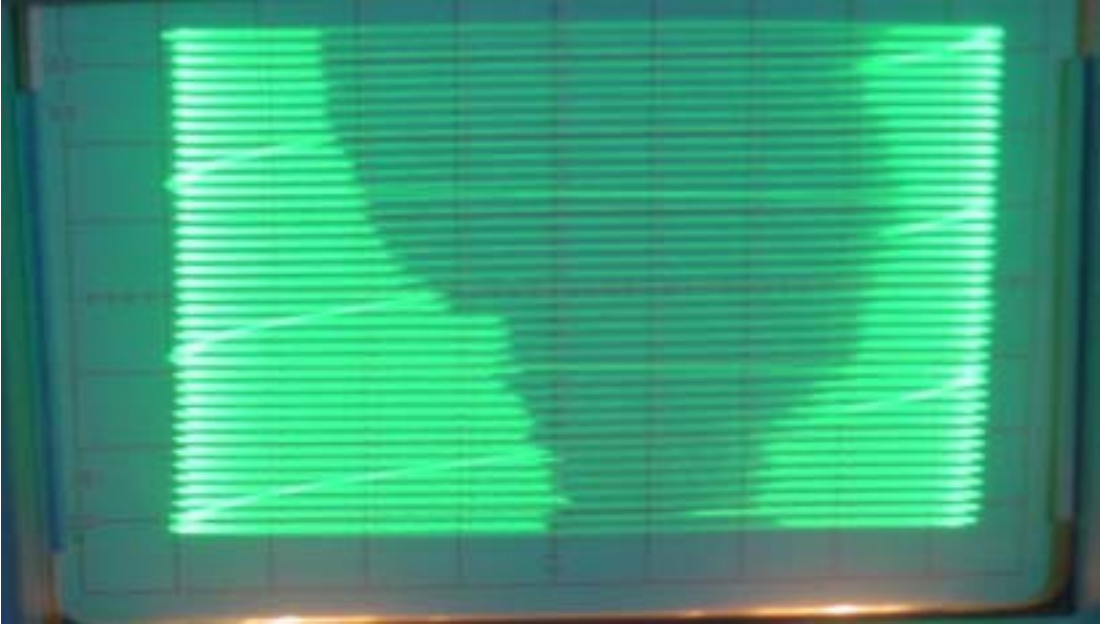


Şekil 4.11. 8 V piezo gerilimde HOPG görüntüsü – 2.

Şekil 4.12. ve Şekil 4.13. de tarama kafasına 8 V uygulanmış ve yaklaşık $3,5 - 5 \mu\text{m}$ lik uzama sağlanmıştır. Böylece yaklaşık $13 \mu\text{m}^2$ lik bir alan taranmıştır. Yine osiloskobun kanalları 1 volt/div ayarında ve x sinyal jeneratörü 300 Hz, y sinyal jeneratörü 9 kHz sinyal üretmektedir. Bu iki şekilde tekrarlanmadan oluşan eğik çizgileri göz ardı edersek iki görüntüde de yüksek tepeler arasında çukur alanlar gözükmemektedir. Şekil 4.5. de bu çukur iki tepeyi birbirinden ayırmıştır ve görüntünün sağ ve sol kenarlarının çok parlak olmasının sebebi uç'un örneğe neredeyse değecek kadar yaklaşmasıdır.

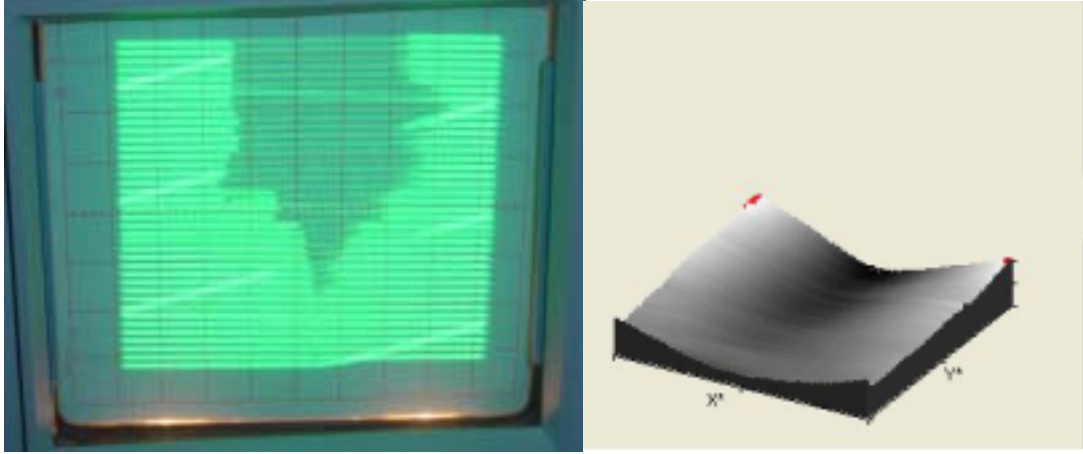


Şekil 4.12. 8 V' luk piezo gerilimde HOPG görüntüsü – 3.

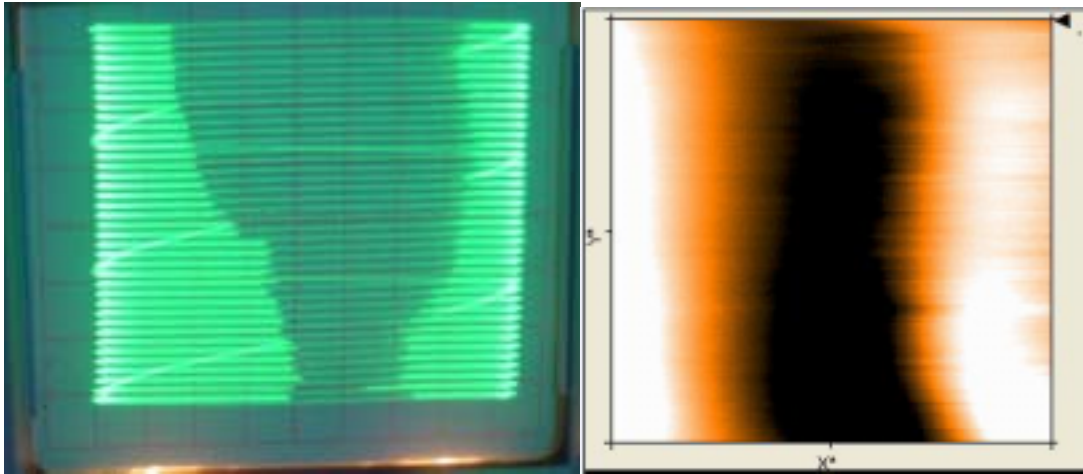


Şekil 4.13. 8 V' luk piezo gerilimde HOPG görüntüsü – 4.

Sonuç olarak, yaptığımız STM den osiloskop yardımıyla aldığımız grafit yüzeyinin resimleri ile laboratuvarımızda bulunan “Easyscan STM” ile grafit yüzeyinden alınan resimler aşağıda karşılaştırılmıştır. Yaklaşık mikrometre mertebesinde alınan resimlerde benzer yüzey topografileri gözlenmiştir.



Şekil 4.14. HOPG' dan alınan yüzey resimlerinin karşılaştırılması -1



Şekil 4.15. HOPG' dan alınan yüzey resimlerinin karşılaştırılması -2

5. SONUÇ

STM, icat edenlere Nobel ödülü kazandırmakla kalmamış, çoğu temel bilimlere araştırma konusu, binlerce yayınlanmış makale, kitap, seminer, teknolojik gelişmeler ve tez çalışmaları yapılmasına sebep olmuştur. Bu tez çalışması da bunlardan biridir.

Yaptığımız çalışmada birkaç mekanik ve elektronik sistem üzerinde uğraşılmıştır. Sunulan bu tezde, üzerinde çalıştığımız en son STM tasarımı anlatılmış ve ek olarak kaynak bilgisi bölümüne STM' nin temel bilimlerde yaygın olarak kullanıldığı uygulamalar hakkında açıklamalar eklenmiştir.

Tarama kafası için ilk önce üç adet piezo tüpten oluşan bir sistem düşünülmüştür. Fakat yapılan tasarımlar ve bu tasarımların uygulanması sonucunda kararlı ve çalışır bir sistem elde edilememiştir. Son olarak, Unimorph disk kullanarak bir tarama kafası imal edilmiştir. Unimorph diskin birkaç volt' luk gerilimle yüksek hareket kabiliyetine sahip olması, yüksek gerilim üretici ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Kaba yaklaştırma sistemi için iki paralel levhayı birbirine yaklaştıran üçlü vida sistemi kullanılmak istenmiş fakat bu sistemde çok fazla titreşim olacağından, örnek ve uç değişimi esnasında kısıtlı bir çalışma alanı sağlayacağı düşünülmüştür. Bunun yerine DC motorlu kaba yaklaştırma sistemi kullanılmıştır. Bu sistem bize kaba yaklaştırmayı elektronik olarak kontrol edebilmemizi hem de uç ve örnek değişiminde geniş bir çalışma alanı sağlamıştır.

Tamamlanan bu çalışma sonunda uygulanan tasarımlar birleştirilmiş ve hava ortamında yani atmosfer ortamında çalışan bir sistem elde edilmiştir. Bu sistem ile HOPG üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde tarama kafasına uygulanan gerilimler ile yaklaşık 4 – 5 μm ' lik bir alanın tarandığı hesaplanmıştır. Ayrıca örnek ve uç arasına uygulanan ön gerilimin tünel akımının oluşup oluşmamasına nasıl etki ettiği araştırılmış ve sonuç olarak düşük ön gerilimde (Bias voltage) tünel akımı oluşmadan tarama ucunun örneğe çarptığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Bai, C., 2000, Scanning Tunneling Microscopy and Its Applications., Springer-Verlag, 368 s
- Bardeen, J., 1961, Tunneling from Many Particle Point of View., Physical Review Letters, 57, 6
- Binnig, G., Rohrer, H., Gerber, Ch., Weibel, E., 1982, Tunneling Through a Controlable Vacuum Gap, Appl. Phys. Lett., 40, 2
- Binnig, G., Rohrer, H., 1984, Scanning Tunneling Microscopy, Physica 127B, 37
- Binnig, G., Rohrer, H., 1986, Scanning Tunneling Microscopy, IBM J. Of Res. And Development. 30, 4, 355
- Birdi, K. S., 2003, Scanning Probe Microscopes: Applications in Science and Technology, CRC Pres, 328 s
- Cohen, S. H., , Lightbody, M. L., 1999, Atomic Force Microscopy/Scanning Tunneling Microscopy 3, Kluwer Academic Publishers, 210 s
- Gerber, Ch., Binnig, G., Fuchs, H., Marti, O., Rohrer, H., 1986, Pocket-Size Scanning Tunneling Microscope (STM) Combined with Scanning Electron Microscope (SEM), Review of Scientific Instruments., 221, 57
- Karaoğlu, B., 1998, Kuantum Mekaniğine Giriş, Güven Yayınları, 245 s
- Kaya, İ. İ., 1990, Construction of a Scanning Tunneling Microscope and Its Application to Graphite Surface in Air., Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü, Y. Lisans Tezi., 81 s, ANKARA
- Koçum, İ. C., 2000, Taramalı Tünelleme Mikroskobunun Modifikasyonu ve Özel Uygulamalar İçin Optimizasyonu, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 107 s, ANKARA
- Kuk, Y., Silverman, P. J., 1987, Scanning Tunneling Microscopy, Applied Physics Letters, 1597, 48
- MacLeod, J., M., 2001, A Beetle-Type Scanning Tunneling Microscope for Studies of Nano-Structured Surfaces, Queen's University Department of Physics, Master Thesis, 79 s
- Marti, O., Amrein, M., 1993, STM and SFM in Biology, Academic Press Inc., 331 s

Nanotechnology: The Homebrew STM Page, - 2004

<http://www.bsc.ustc.edu.cn/~jlyang/research/STMWebPage.html>

Oral, A., 1990, Construction of a Scanning Tunneling Microscope and First Results, Bilkent Univerversitesi, Y. Lisans Tezi, 68 s, İSTANBUL

Park, S., Quate, C. F., 1987, Theories of the Feedback and Vibration Isolation Systems for the Scanning Tunneling Microscope., Review os Scientific Instruments, 2004, 58

Scanning Probe Microscopy SPM Web Page, www.geocities.com/spm_stm/ -2004

Stallcup, R., E., 2000, Scanning Tunneling Microscopy of Homo-Epitaxial Chemical Vapor Deposited Diamond (100) Films, University of North Texas, Doktora Tezi, 79 s

Stefanis, A. De., Tomlinson, A.A.G., 2001, Scanning Probe Microscopies: From Surface Structure to Nano-Scale Engineering, Trans Tech Publications, 94 s

STM Image Gallery, www.almaden.ibm.com/vis/stm/gallery.html -2004

Sergei, N. M., Whangbo, M. H., 1996, Surface Analysis with STM and AFM, VCH Publishers Inc., 323 s

The Scanning Tunneling Microscope : Overview,

webphysics.davidson.edu/alumni/jocowan/STM/stmout.htm- 2004

Tersoff, J., Hamann, D. R., 1983, Theory and Application for the Scanning Tunneling Microscope. Physical Review Letters, 1998, 50

Woodruff, D.P., Delchar, T.A., 1999, Modern Techniques of Surface Science – Second Edition, Cambridge University Pres, 586 s

Zareie, H., 1995, Scanning Tunneling Microscopy: Design, Construction and Applications, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, 118 s, ANKARA

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çağrı ÇIRAK
Doğum Yeri : ISPARTA
Doğum Yılı : 08.11.1981
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise :1995 - 1998 Burdur Lisesi
Lisans :1998 - 2002 Süleyman DEMİREL Üniversitesi Fen-Ed
Fakültesi Fizik Bölümü.
Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi

2002 – Halen : Araştırma Görevlisi, Süleyman DEMİREL Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü.

EK -1

- LF411CN Entegre Devresi Katalogu

LF411

Low Offset, Low Drift JFET Input Operational Amplifier

General Description

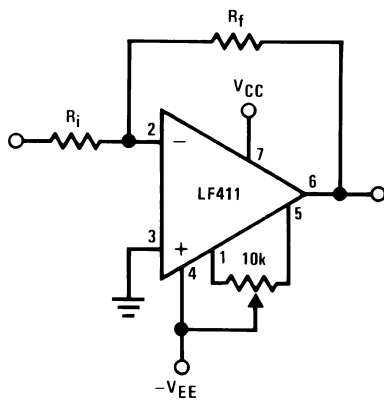
These devices are low cost, high speed, JFET input operational amplifiers with very low input offset voltage and guaranteed input offset voltage drift. They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF411 is pin compatible with the standard LM741 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage and drift, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth.

Features

- Internally trimmed offset voltage: 0.5 mV(max)
- Input offset voltage drift: 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (max)
- Low input bias current: 50 pA
- Low input noise current: 0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide gain bandwidth: 3 MHz(min)
- High slew rate: 10V/ μs (min)
- Low supply current: 1.8 mA
- High input impedance: $10^{12}\Omega$
- Low total harmonic distortion: $\leq 0.02\%$
- Low 1/f noise corner: 50 Hz
- Fast settling time to 0.01%: 2 μs

Typical Connection



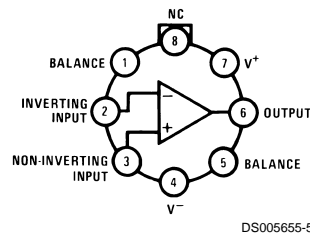
Ordering Information

LF411XYZ

- X** indicates electrical grade
- Y** indicates temperature range
 - "M" for military
 - "C" for commercial
- Z** indicates package type
 - "H" or "N"

Connection Diagrams

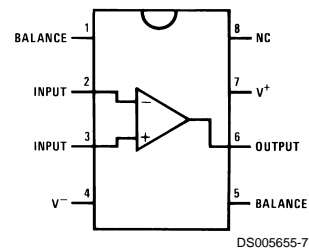
Metal Can Package



Note: Pin 4 connected to case.

Top View
Order Number LF411ACH
or LF411MH/883 (Note 11)
See NS Package Number H08A

Dual-In-Line Package



Top View
Order Number LF411ACN, LF411CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

| | LF411A | LF411 |
|---------------------------------|------------|------------|
| Supply Voltage | ±22V | ±18V |
| Differential Input Voltage | ±38V | ±30V |
| Input Voltage Range (Note 2) | ±19V | ±15V |
| Output Short Circuit Duration | Continuous | Continuous |
| | H Package | N Package |
| Power Dissipation (Notes 3, 10) | 670 mW | 670 mW |

| | H Package | N Package |
|---------------------------------|---|--------------------------------|
| $T_{j,max}$ | 150°C | 115°C |
| θ_{jA} | 162°C/W (Still Air) 65°C/W (400 LF/min Air Flow) | 120°C/W |
| θ_{jC} | 20°C/W | |
| Operating Temp. Range | (Note 4) | (Note 4) |
| Storage Temp. Range | -65°C ≤ T _A ≤ 150°C | -65°C ≤ T _A ≤ 150°C |
| Lead Temp. (Soldering, 10 sec.) | 260°C | 260°C |
| ESD Tolerance | | Rating to be determined. |

DC Electrical Characteristics (Note 5)

| Symbol | Parameter | Conditions | LF411A | | | LF411 | | | Units | |
|----------------------|------------------------------------|--|-----------------------|------------------|-----|-------|------------------|-------------|-------|----|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | | |
| V _{OS} | Input Offset Voltage | R _S =10 kΩ, T _A =25°C | | 0.3 | 0.5 | | 0.8 | 2.0 | mV | |
| ΔV _{OS} /ΔT | Average TC of Input Offset Voltage | R _S =10 kΩ (Note 6) | | 7 | 10 | | 7 | 20 (Note 6) | μV/°C | |
| I _{OS} | Input Offset Current | V _S =±15V (Notes 5, 7) | T _J =25°C | | 25 | 100 | | 25 | 100 | pA |
| | | | T _J =70°C | | | 2 | | | 2 | nA |
| | | | T _J =125°C | | | 25 | | | 25 | nA |
| I _B | Input Bias Current | V _S =±15V (Notes 5, 7) | T _J =25°C | | 50 | 200 | | 50 | 200 | pA |
| | | | T _J =70°C | | | 4 | | | 4 | nA |
| | | | T _J =125°C | | | 50 | | | 50 | nA |
| R _{IN} | Input Resistance | T _J =25°C | | 10 ¹² | | | 10 ¹² | | Ω | |
| A _{VOL} | Large Signal Voltage Gain | V _S =±15V, V _O =±10V, R _L =2k, T _A =25°C | 50 | 200 | | 25 | 200 | | V/mV | |
| | | Over Temperature | 25 | 200 | | 15 | 200 | | V/mV | |
| V _O | Output Voltage Swing | V _S =±15V, R _L =10k | ±12 | ±13.5 | | ±12 | ±13.5 | | V | |
| V _{CM} | Input Common-Mode Voltage Range | | ±16 | +19.5 | | ±11 | +14.5 | | V | |
| | | | | -16.5 | | | -11.5 | | V | |
| CMRR | Common-Mode Rejection Ratio | R _S ≤10k | 80 | 100 | | 70 | 100 | | dB | |
| PSRR | Supply Voltage Rejection Ratio | (Note 8) | 80 | 100 | | 70 | 100 | | dB | |
| I _S | Supply Current | | | 1.8 | 2.8 | | 1.8 | 3.4 | mA | |

AC Electrical Characteristic (Note 5)

| Symbol | Parameter | Conditions | LF411A | | | LF411 | | | Units |
|----------------|--------------------------------|--|--------|-------|-----|-------|-------|-----|--------|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| SR | Slew Rate | V _S =±15V, T _A =25°C | 10 | 15 | | 8 | 15 | | V/μs |
| GBW | Gain-Bandwidth Product | V _S =±15V, T _A =25°C | 3 | 4 | | 2.7 | 4 | | MHz |
| e _n | Equivalent Input Noise Voltage | T _A =25°C, R _S =100Ω, f=1 kHz | | 25 | | | 25 | | nV/√Hz |
| i _n | Equivalent Input Noise Current | T _A =25°C, f=1 kHz | | 0.01 | | | 0.01 | | pA/√Hz |
| THD | Total Harmonic Distortion | A _V =+10, R _L =10k, V _O =20 Vp-p, BW=20 Hz-20 kHz | | <0.02 | | | <0.02 | | % |

AC Electrical Characteristic (Note 5) (Continued)

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: For operating at elevated temperature, these devices must be derated based on a thermal resistance of θ_{JA} .

Note 4: These devices are available in both the commercial temperature range $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ and the military temperature range $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$. The temperature range is designated by the position just before the package type in the device number. A "C" indicates the commercial temperature range and an "M" indicates the military temperature range. The military temperature range is available in "H" package only.

Note 5: Unless otherwise specified, the specifications apply over the full temperature range and for $V_S = \pm 20\text{V}$ for the LF411A and for $V_S = \pm 15\text{V}$ for the LF411. V_{OS} , I_B , and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 6: The LF411A is 100% tested to this specification. The LF411 is sample tested to insure at least 90% of the units meet this specification.

Note 7: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_j . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D . $T_j = T_A + \theta_{JA} P_D$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

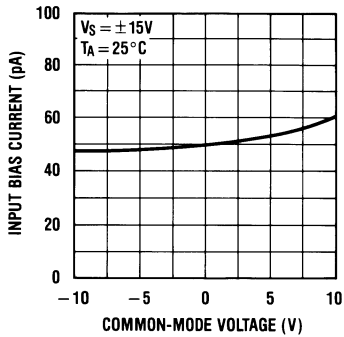
Note 8: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice, from $\pm 15\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$ for the LF411 and from $\pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$ for the LF411A.

Note 9: RETS 411X for LF411MH and LF411MJ military specifications.

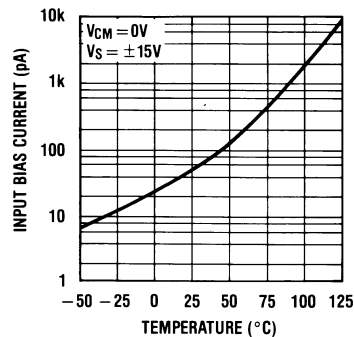
Note 10: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

Typical Performance Characteristics

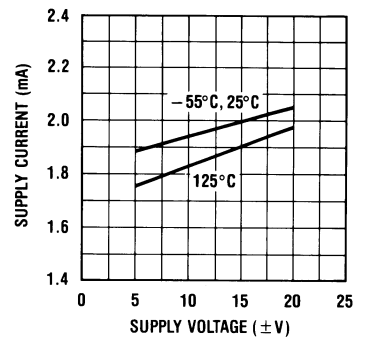
Input Bias Current



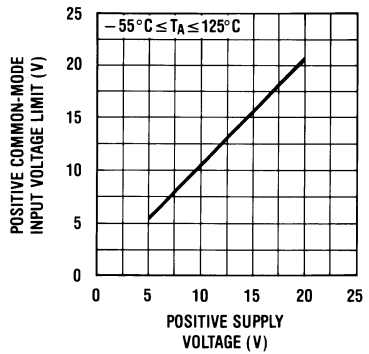
Input Bias Current



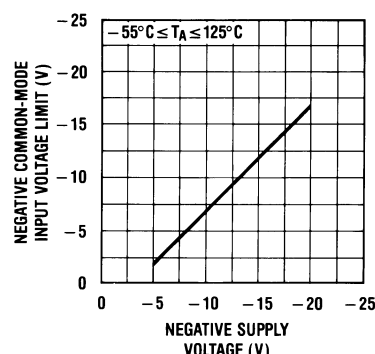
Supply Current



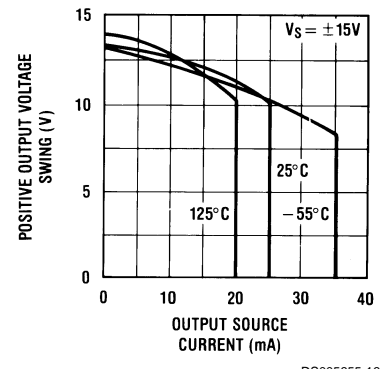
Positive Common-Mode Input Voltage Limit



Negative Common-Mode Input Voltage Limit

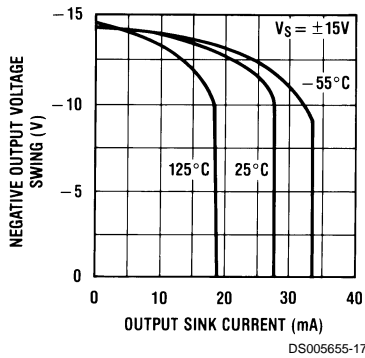


Positive Current Limit

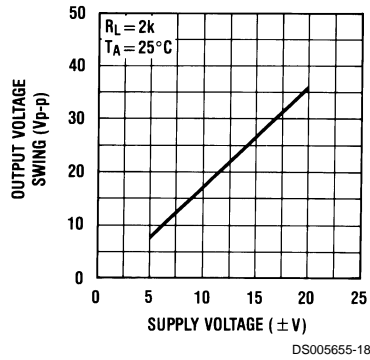


Typical Performance Characteristics (Continued)

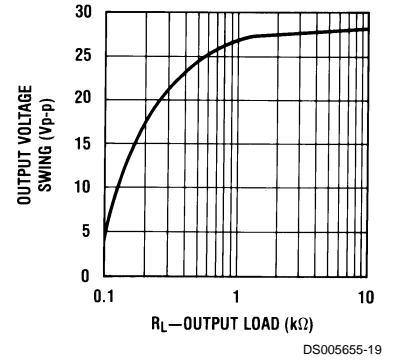
Negative Current Limit



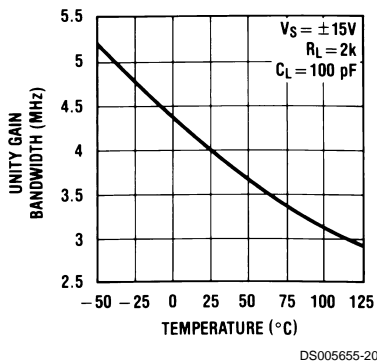
Output Voltage Swing



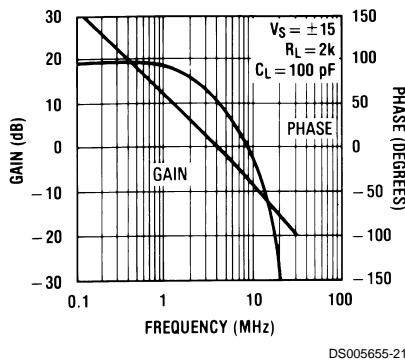
Output Voltage Swing



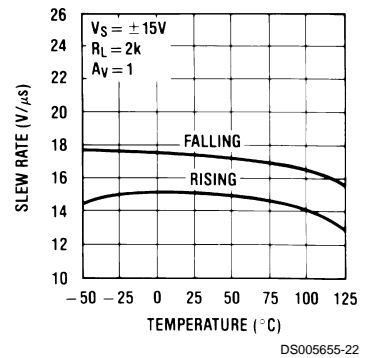
Gain Bandwidth



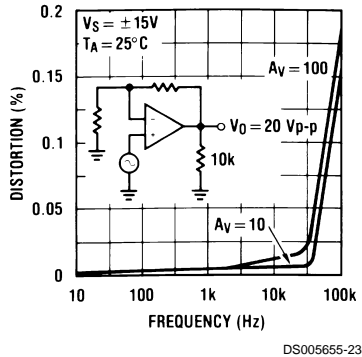
Bode Plot



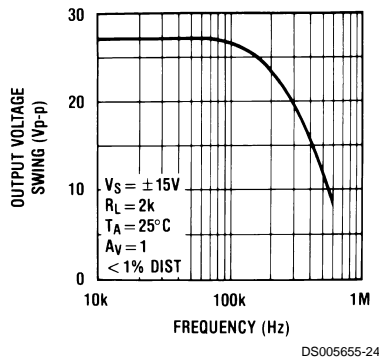
Slew Rate



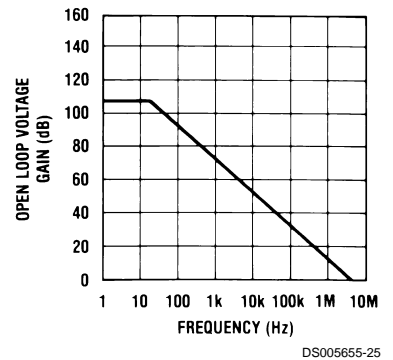
Distortion vs Frequency



Undistorted Output Voltage Swing

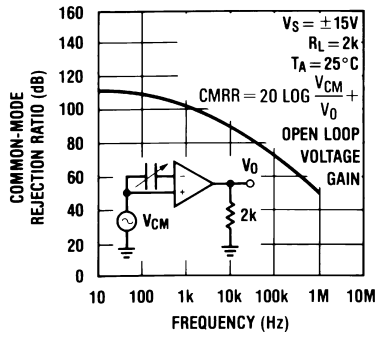


Open Loop Frequency Response



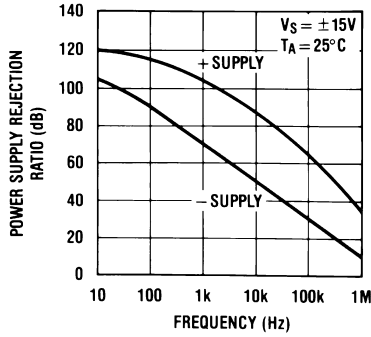
Typical Performance Characteristics (Continued)

Common-Mode Rejection Ratio



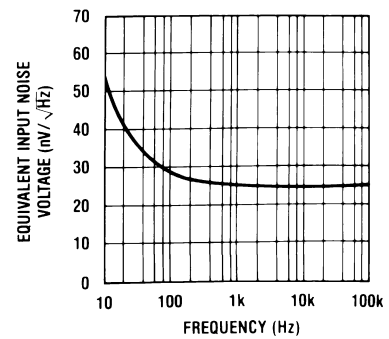
DS005655-26

Power Supply Rejection Ratio



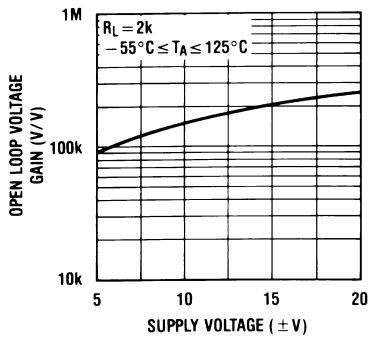
DS005655-27

Equivalent Input Noise Voltage



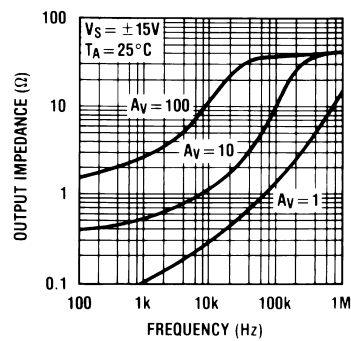
DS005655-28

Open Loop Voltage Gain



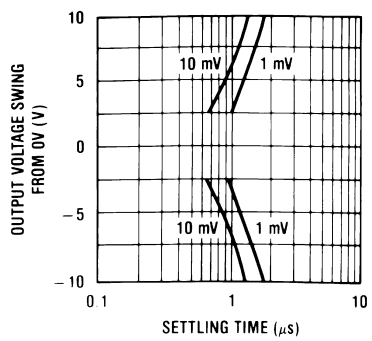
DS005655-29

Output Impedance



DS005655-30

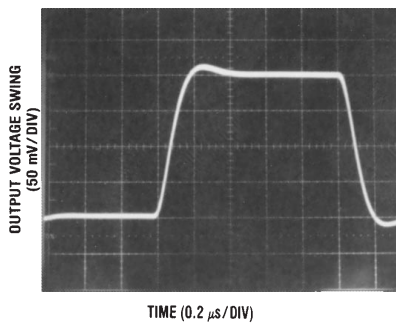
Inverter Settling Time



DS005655-31

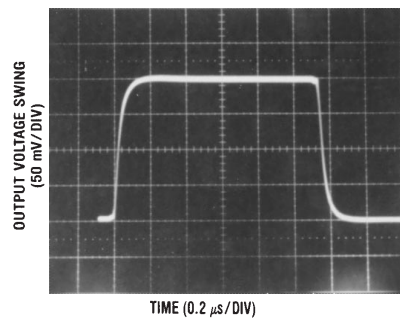
Pulse Response $R_L=2\text{ k}\Omega$, $C_L=10\text{ pF}$

Small Signal Inverting



DS005655-39

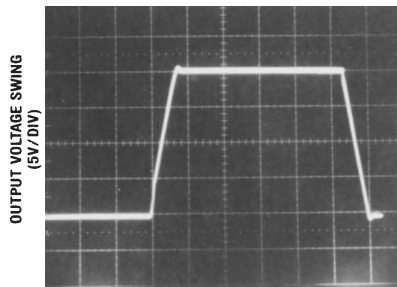
Small Signal Non-Inverting



DS005655-40

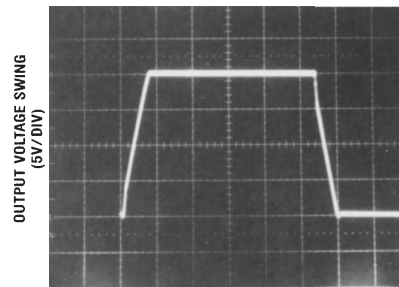
Pulse Response $R_L=2\text{ k}\Omega$, $C_L=10\text{ pF}$ (Continued)

Large Signal Inverting

TIME (2 μ s/DIV)

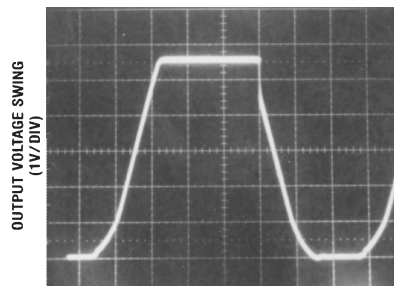
DS005655-41

Large Signal Non-Inverting

TIME (2 μ s/DIV)

DS005655-42

Current Limit ($R_L=100\Omega$)

TIME (5 μ s/DIV)

DS005655-43

Application Hints

The LF411 series of internally trimmed JFET input op amps (BI-FET II™) provide very low input offset voltage and guaranteed input offset voltage drift. These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output. Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier may be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF411 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on $\pm 4.5\text{V}$ power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF411 will drive a 2 k Ω load resistance to $\pm 10\text{V}$ over the full temperature range. If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

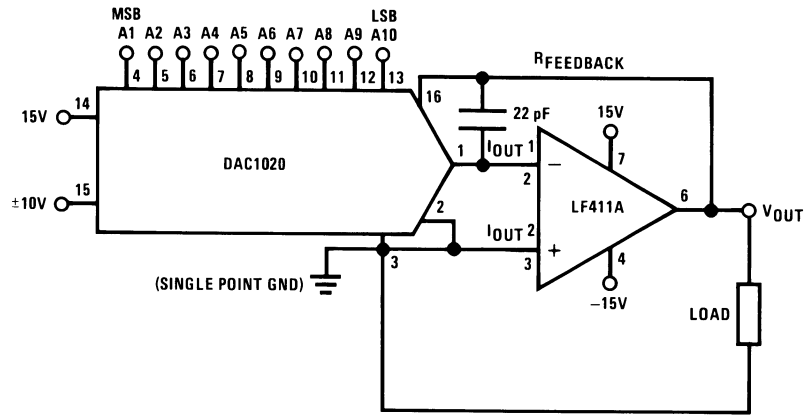
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around any amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency, a lead capacitor should be placed

Typical Applications (Continued)

10-Bit Linear DAC with No V_{OS} Adjust



DS005655-32

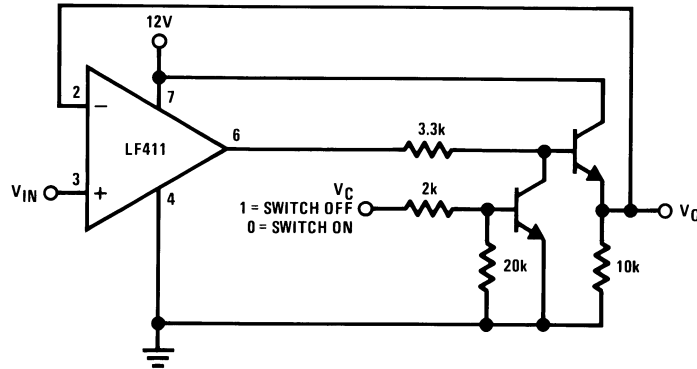
$$V_{OUT} = -V_{REF} \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \dots + \frac{A_{10}}{1024} \right)$$

$$-10V \leq V_{REF} \leq 10V$$

$$0 \leq V_{OUT} \leq -\frac{1023}{1024} V_{REF}$$

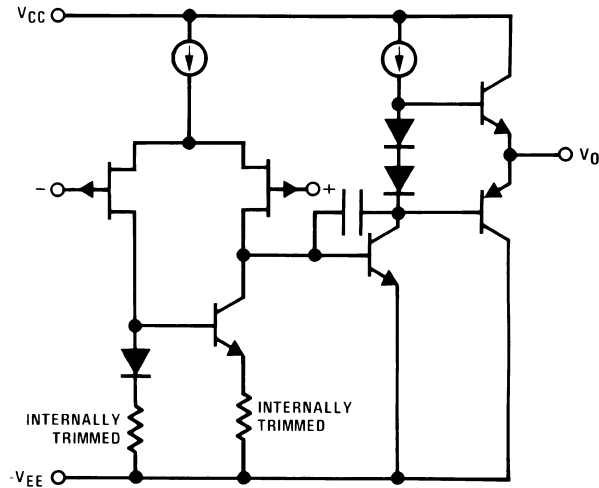
where $A_N=1$ if the A_N digital input is high
 $A_N=0$ if the A_N digital input is low

Single Supply Analog Switch with Buffered Output



DS005655-33

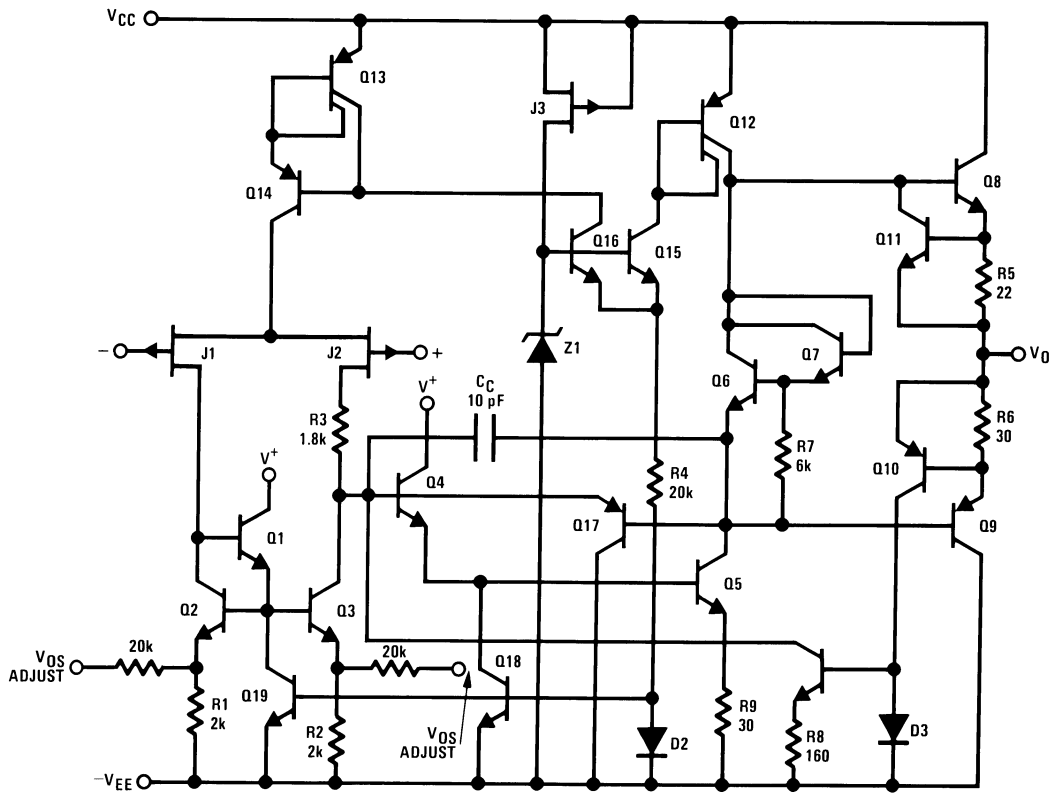
Simplified Schematic



DS005655-6

Note 11: Available per JM38510/11904

Detailed Schematic



DS005655-34

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

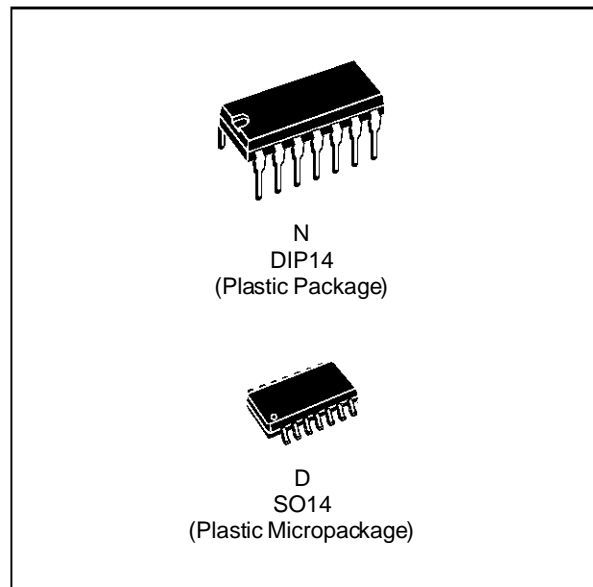
National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

Ek - 2

- TL074 Entegre Devre Katalogu

LOW NOISE
QUAD J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS

- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15nV/\sqrt{Hz}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $13V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL074, TL074A and TL074B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

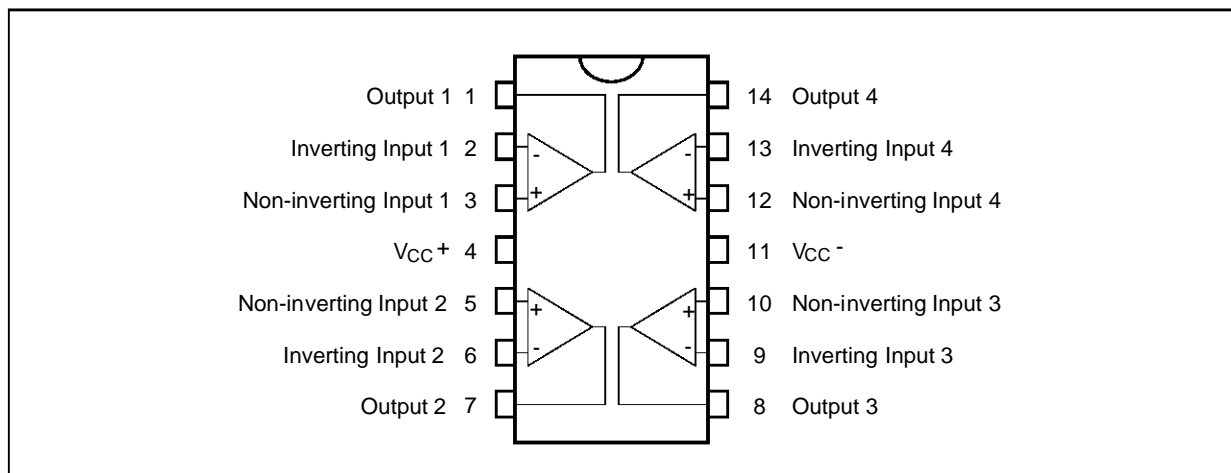
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

| Part Number | Temperature Range | Package | |
|-------------------|-------------------|---------|---|
| | | N | D |
| TL074M/AM/BM | -55°C, +125°C | • | • |
| TL074I/AI/BI | -40°C, +105°C | • | • |
| TL074C/AC/BC | 0°C, +70°C | • | • |
| Example : TL074IN | | | |

074-01.TBL

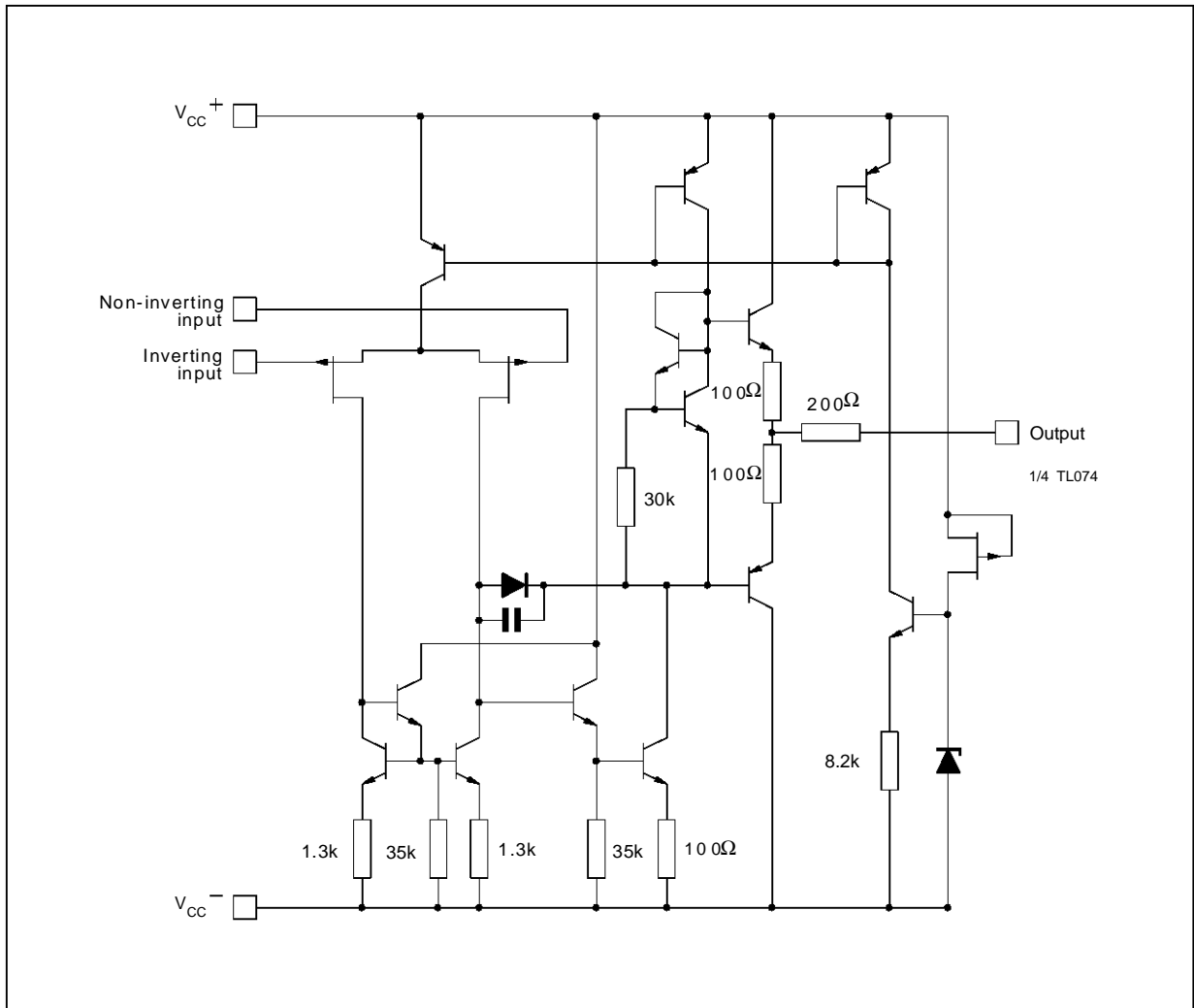
PIN CONNECTIONS (top view)



074-01.EPS

TL074 - TL074A - TL074B

SCHEMATIC DIAGRAM



074-02.EPS

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | Unit |
|------------|--|--|--------------------|
| V_{CC} | Supply Voltage - (note 1) | ± 18 | V |
| V_i | Input Voltage - (note 3) | ± 15 | V |
| V_{id} | Differential Input Voltage - (note 2) | ± 30 | V |
| P_{tot} | Power Dissipation | 680 | mW |
| | Output Short-circuit Duration - (note 4) | Infinite | |
| T_{oper} | Operating Free Air Temperature Range | TL074C,AC,BC TL074I,AI,BI TL074M,AM,BM | $^{\circ}\text{C}$ |

074-02.TBL

- Notes :
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
 2. Differential voltages are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and /or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

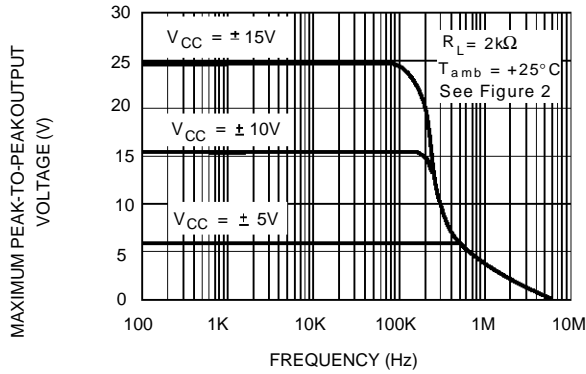
V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | TL074I,M,AC,AI, AM,BC,BI,BM | | | TL074C | | | Unit |
|----------------------------------|---|--------------------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------|------------------------|
| | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | |
| V _{io} | Input Offset Voltage (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} TL074BC,BI,BM TL074BC,BI,BM | | 3 1 | 6 3 7 5 | | 3 | 10 13 | mV |
| DV _{io} | Input Offset Voltage Drift | | 10 | | | 10 | | μV/°C |
| I _{io} | Input Offset Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | | 5 | 100 4 | | 5 | 100 10 | pA nA |
| I _{ib} | Input Bias Current * T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | | 20 | 200 20 | | 30 | 200 20 | pA nA |
| A _{vd} | Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _O = ±10V) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | 50 25 | 200 | | 25 15 | 200 | | V/mV |
| SVR | Supply Voltage Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | 80 80 | 86 | | 70 70 | 86 | | dB |
| I _{CC} | Supply Current, per Amp, no Load T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | | 1.4 | 2.5 2.5 | | 1.4 | 2.5 2.5 | mA |
| V _{icm} | Input Common Mode Voltage Range | ±11 | +15 -12 | | ±11 | +15 -12 | | V |
| CMR | Common Mode Rejection Ratio (R _S = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | 80 80 | 86 | | 70 70 | 86 | | dB |
| I _{os} | Output Short-circuit Current T _{amb} = 25°C T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} | 10 10 | 40 | 60 60 | 10 10 | 40 | 60 60 | mA |
| ±V _{OPP} | Output Voltage Swing T _{amb} = 25°C R _L = 2kΩ R _L = 10kΩ T _{min.} ≤ T _{amb} ≤ T _{max.} R _L = 2kΩ R _L = 10kΩ | 10 12 10 12 | 12 13.5 | | 10 12 10 12 | 12 13.5 | | V |
| SR | Slew Rate (V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain) | 8 | 13 | | 8 | 13 | | V/μs |
| t _r | Rise Time (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain) | | 0.1 | | | 0.1 | | μs |
| K _{OV} | Overshoot (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain) | | 10 | | | 10 | | % |
| GBP | Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T _{amb} = 25°C, V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF) | 2 | 3 | | 2 | 3 | | MHz |
| R _i | Input Resistance | | 10 ¹² | | | 10 ¹² | | Ω |
| THD | Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A _V = 20dB, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, V _O = 2V _{PP}) | | 0.01 | | | 0.01 | | % |
| e _n | Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R _S = 100Ω) | | 15 | | | 15 | | $\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$ |
| ∅ _m | Phase Margin | | 45 | | | 45 | | Degrees |
| V _{O1} /V _{O2} | Channel Separation (A _V = 100) | | 120 | | | 120 | | dB |

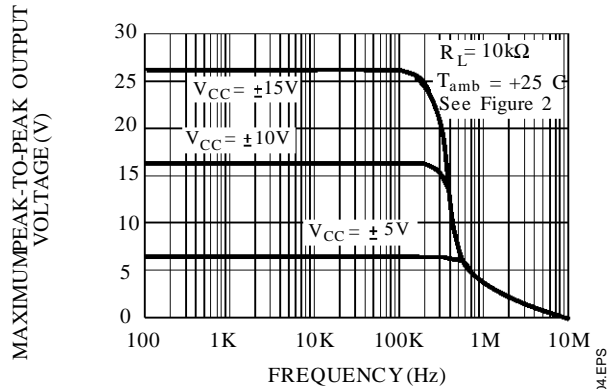
* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

074-03.TBL

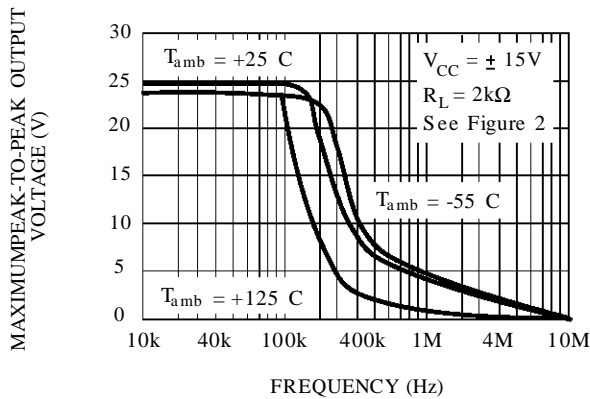
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



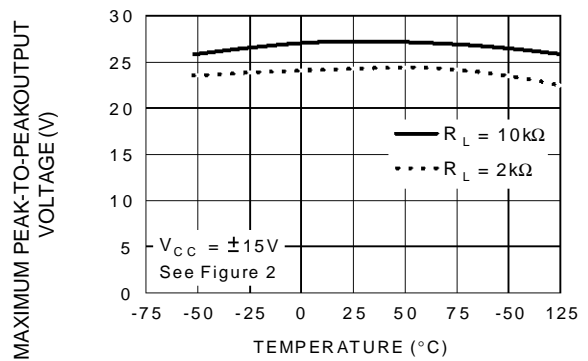
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



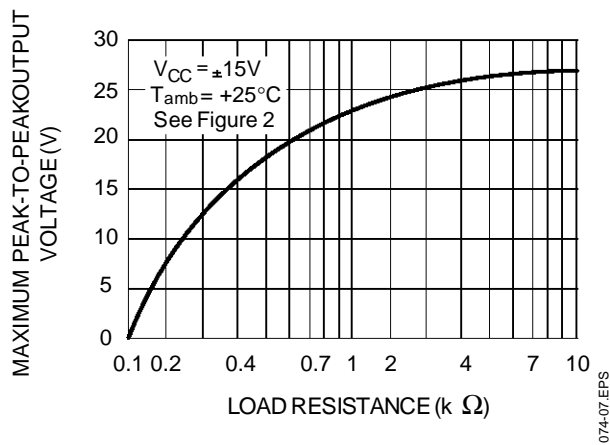
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



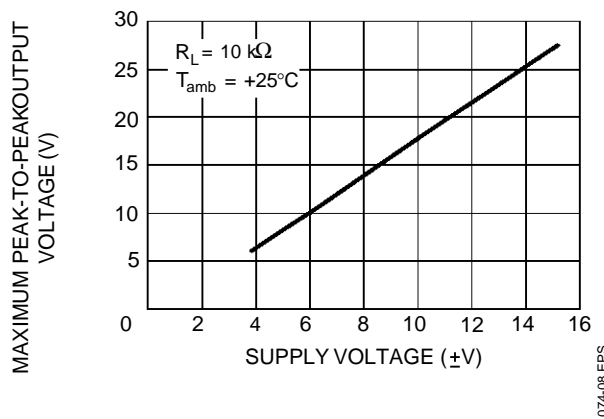
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



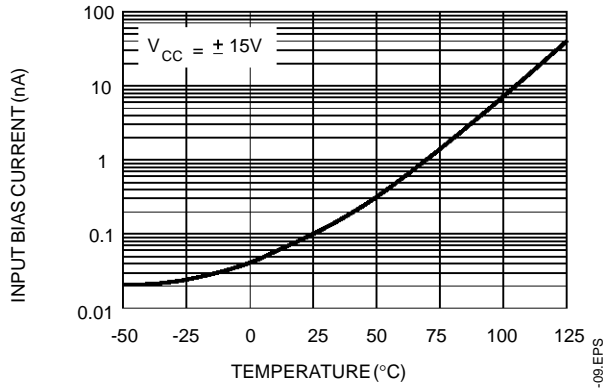
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE

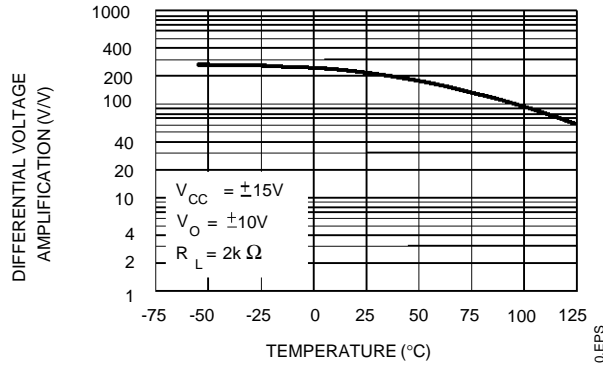


INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



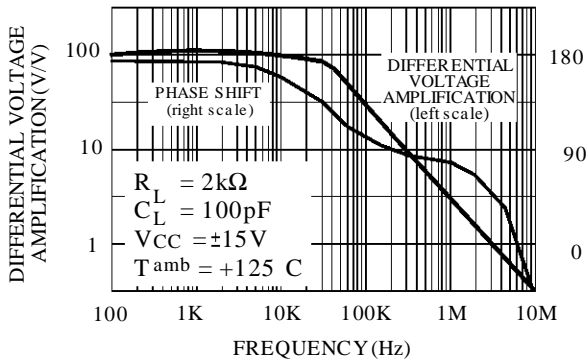
074-08.EPS

LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



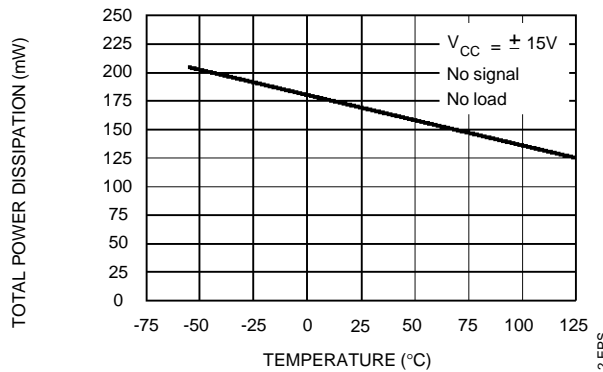
074-10.EPS

LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY



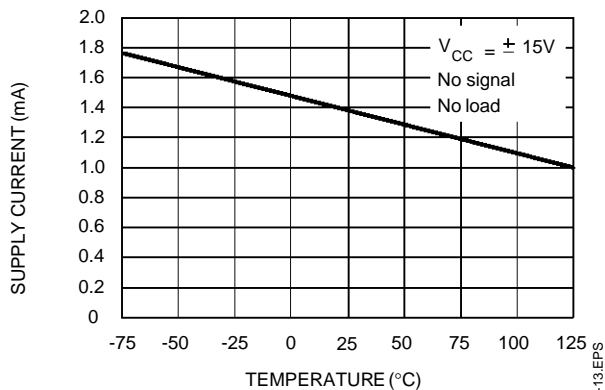
074-11.EPS

TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



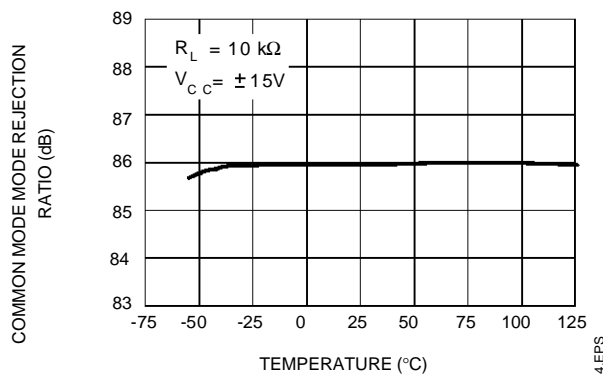
074-12.EPS

SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



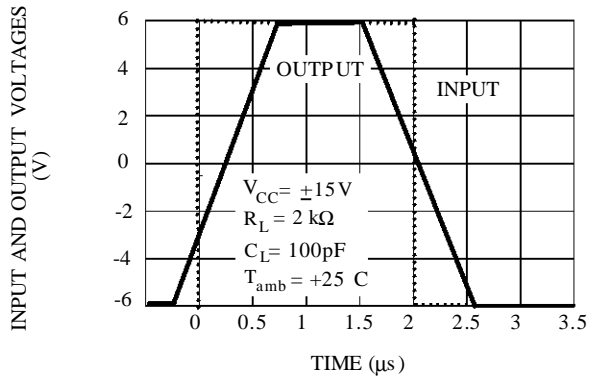
074-13.EPS

COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



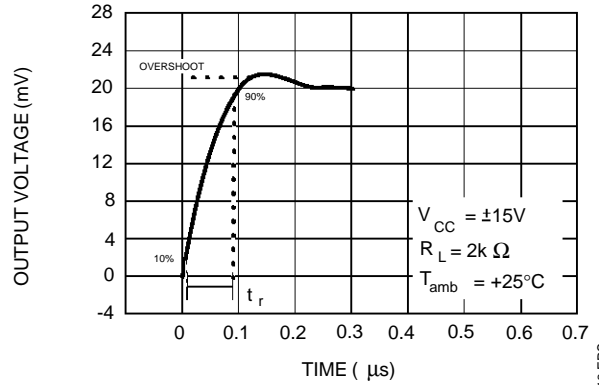
074-14.EPS

VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



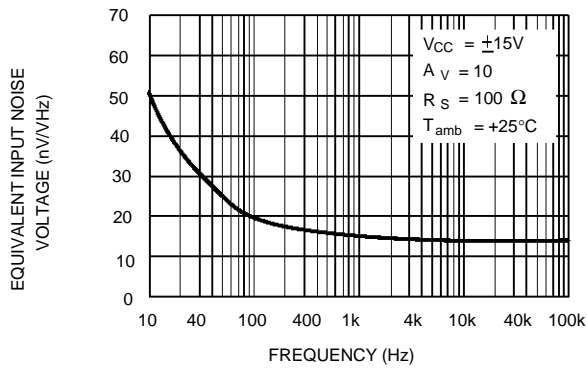
074-15.EPS

OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



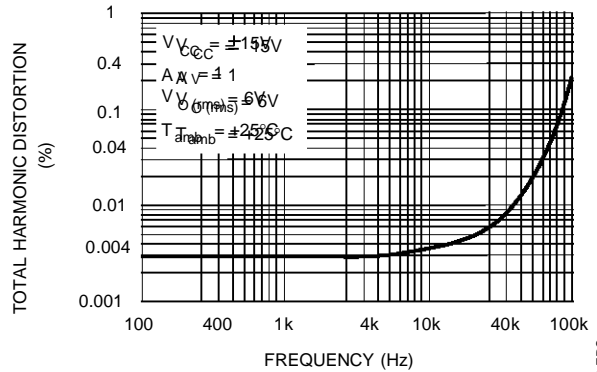
074-16.EPS

EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



074-17.EPS

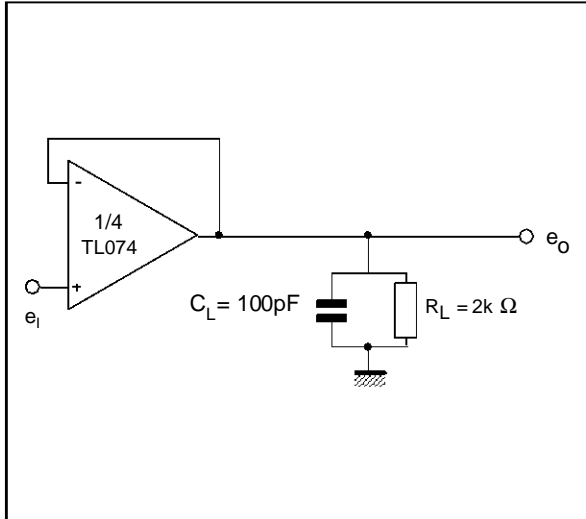
TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY



074-18.EPS

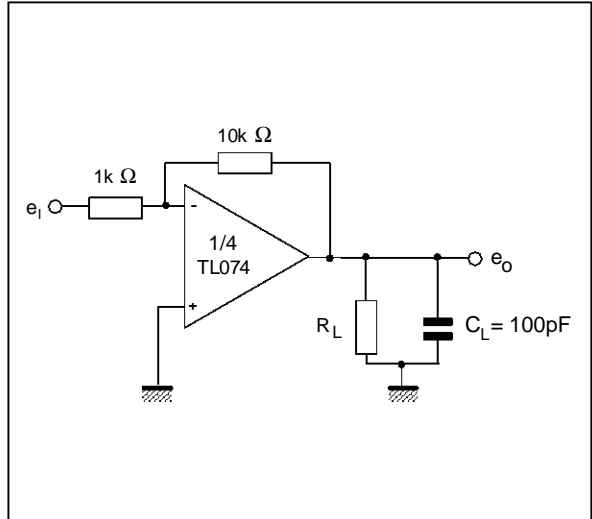
PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower



074-19.EPS

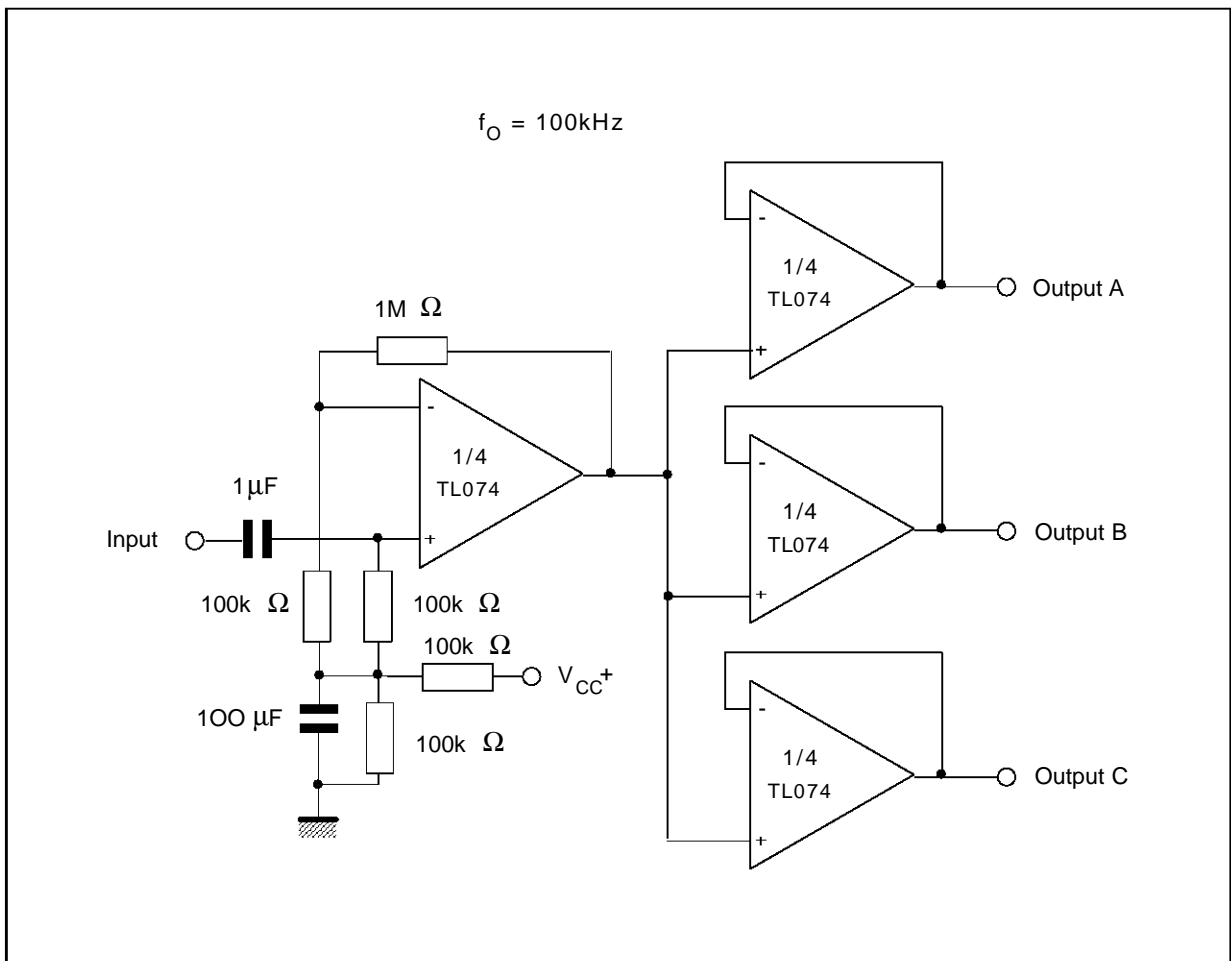
Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



074-20.EPS

TYPICAL APPLICATIONS

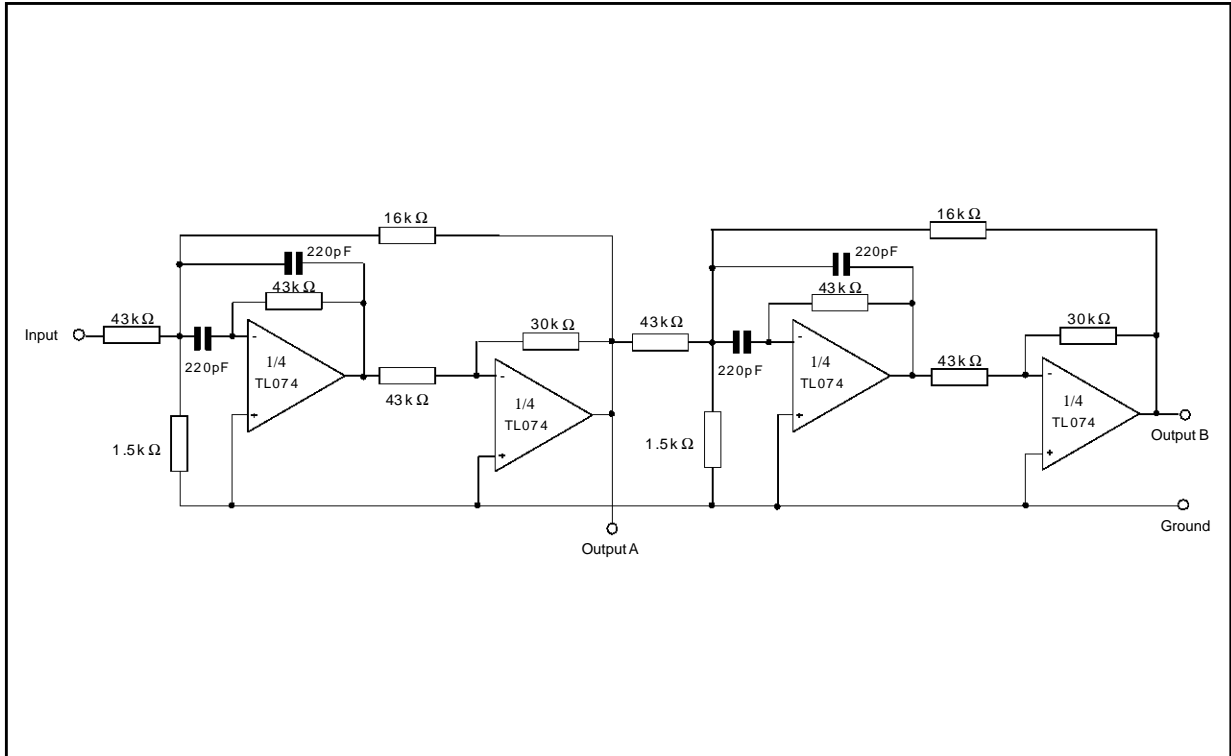
AUDIO DISTRIBUTION AMPLIFIER



074-21.EPS

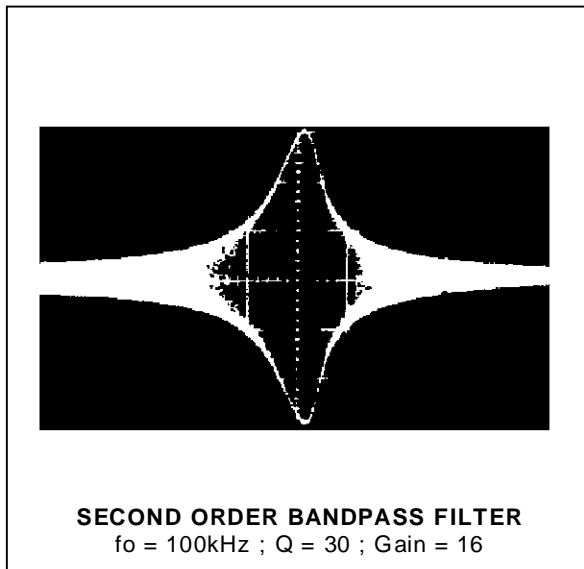
TYPICAL APPLICATIONS (continued)

POSITIVE FEEDBACK BANDPASS FILTER



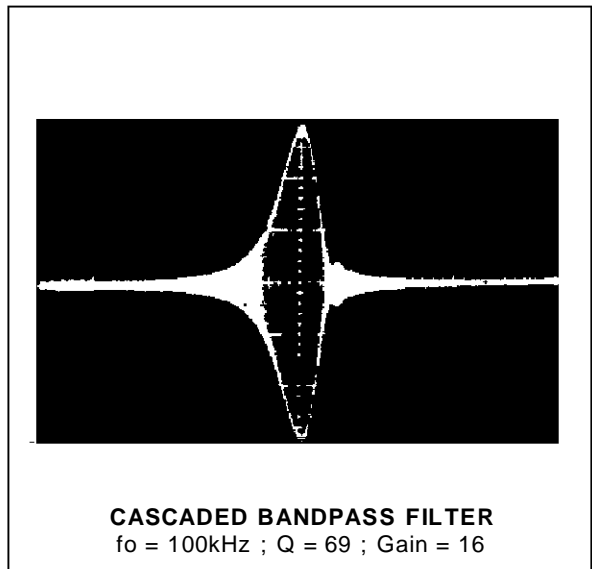
074-22.EPS

OUTPUT A



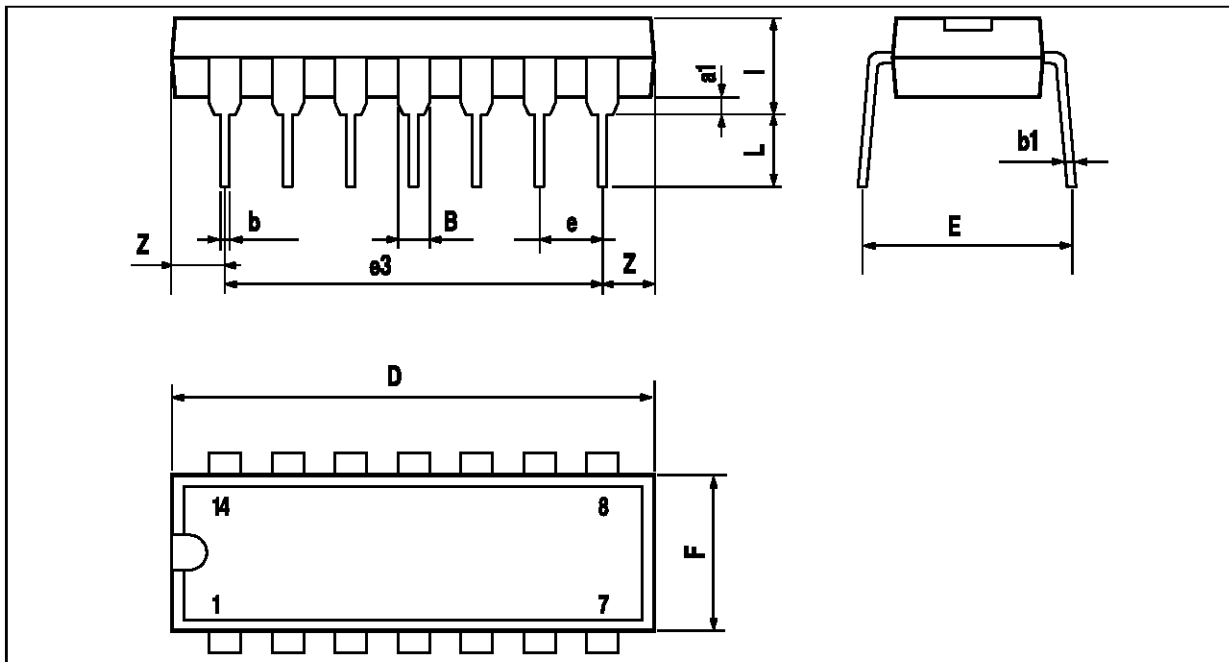
074-23.IMG

OUTPUT B



074-24.IMG

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC DIP OR CERDIP



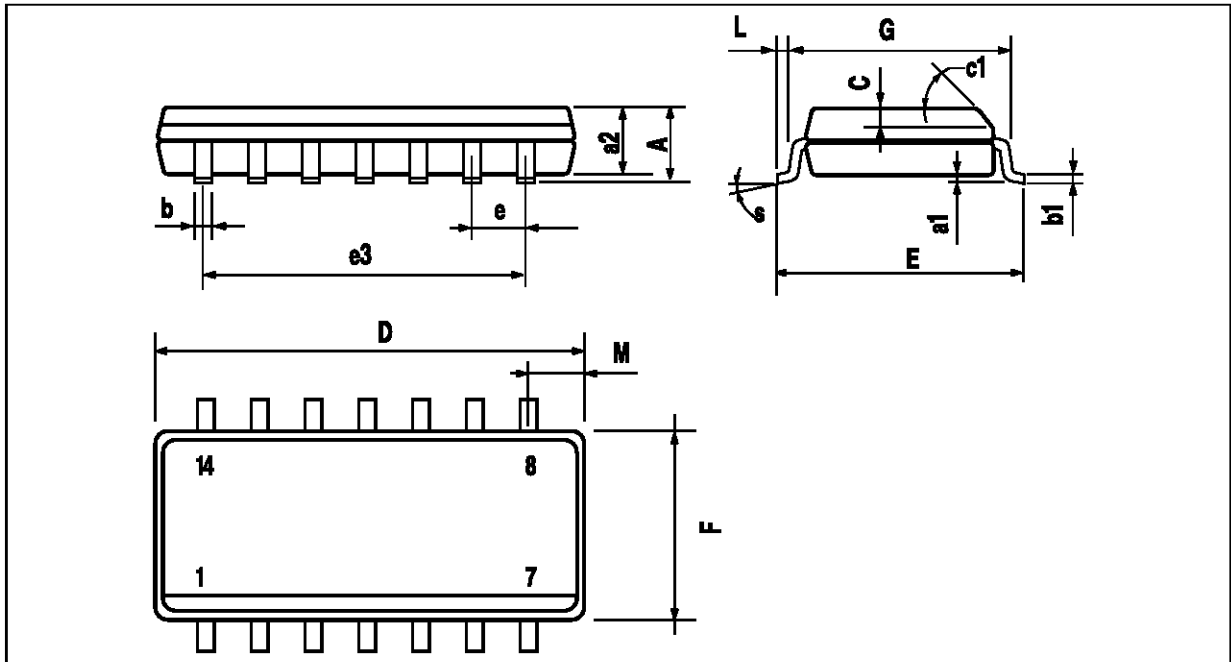
PM-DIP14.EPS

| Dimensions | Millimeters | | | Inches | | |
|------------|-------------|-------|------|--------|-------|-------|
| | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. |
| a1 | 0.51 | | | 0.020 | | |
| B | 1.39 | | 1.65 | 0.055 | | 0.065 |
| b | | 0.5 | | | 0.020 | |
| b1 | | 0.25 | | | 0.010 | |
| D | | | 20 | | | 0.787 |
| E | | 8.5 | | | 0.335 | |
| e | | 2.54 | | | 0.100 | |
| e3 | | 15.24 | | | 0.600 | |
| F | | | 7.1 | | | 0.280 |
| i | | | 5.1 | | | 0.201 |
| L | | 3.3 | | | 0.130 | |
| Z | 1.27 | | 2.54 | 0.050 | | 0.100 |

DIP14.TBL

TL074 - TL074A - TL074B

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



PM-SO14.EPS

| Dimensions | Millimeters | | | Inches | | |
|------------|-------------|------|------|--------|-------|-------|
| | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. |
| A | | | 1.75 | | | 0.069 |
| a1 | 0.1 | | 0.2 | 0.004 | | 0.008 |
| a2 | | | 1.6 | | | 0.063 |
| b | 0.35 | | 0.46 | 0.014 | | 0.018 |
| b1 | 0.19 | | 0.25 | 0.007 | | 0.010 |
| C | | 0.5 | | | 0.020 | |
| c1 | 45° (typ.) | | | | | |
| D | 8.55 | | 8.75 | 0.336 | | 0.334 |
| E | 5.8 | | 6.2 | 0.228 | | 0.244 |
| e | | 1.27 | | | 0.050 | |
| e3 | | 7.62 | | | 0.300 | |
| F | 3.8 | | 4.0 | 0.150 | | 0.157 |
| G | 4.6 | | 5.3 | 0.181 | | 0.208 |
| L | 0.5 | | 1.27 | 0.020 | | 0.050 |
| M | | | 0.68 | | | 0.027 |
| S | 8° (max.) | | | | | |

SO14.TBL

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No licence is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1996 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ORDER CODE :