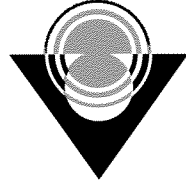


2008-677



TÜBİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

Temel Bilimler Araştırma Grubu
Basic Sciences Research Grant Group

100410

Süperiletkenlerdeki Josephson Girdap Akısının Terahertz Işıması

Proje No: 106T053

Doç. Dr. Lütfi Özyüzer
Doç. Dr. Salih Okur
Yrd. Doç. Dr. Süleyman Tarı
Arş. Gör. Yılmaz Şimşek
Arş. Gör. Savaş Ulucan
Mehtap Özdemir
Hasan Köseoğlu

Temmuz 2008
İZMİR

ÖNSÖZ

Bu çalışmada $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ tek kristallerinin özgül Josephson eklemleri özelliğinden faydalanılarak terahertz ışması özellikleri incelenmiştir. Özgül Josephson eklemlerinden oluşan mesa yapı dizileri TÜBİTAK tarafından desteklenen 106T053 nolu projenin kısmi desteği ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümünün altyapısı kullanılarak hazırlanmıştır. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca Ca zengin $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ kristalleri büyüten ve kullanmamızı sağlayan D.G. Hinks (Argonne Ulusal Lab.) ve K. Kadowaki (Tsukuba Üniv.) ile tartışmalarla yol gösteren K.E. Gray, C. Kurter, A. E. Koshelev ve U. Welp'e minnettarız. TÜBİTAK'ça sağlanan bu kısmi destek ile İYTE Fizik Bölümünde Arş. Gör. Yılmaz Şimşek (şimdi Erlangen Üniversitesi, Terahertz üzerine doktora öğrencisi), Arş. Gör. Savaş Ulucan (şimdi Dublin Üniversitesi, doktora öğrencisi) ve Mehtap Özdemir (şimdi Dokuz Eylül Üniversitesi, doktora öğrencisi) M.S. tezlerini tamamlamışlardır ve Hasan Köseoğlu M.S. çalışmalarına devam etmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	4
ABSTRACT.....	5
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	6
TABLoların LİSTESİ.....	8
BÖLÜM 1. ÖZGÜN JOSEPHSON EKLEMLERİNİN TÜNELLEMESİ.....	9
1.1. BSCCO kristal yapısı ve fiziksel özellikleri	9
1.2 Tünelleme Spektroskopisi	10
1.2.1 Temel Tünelleme Fenomeni.....	11
1.2.2 SIN Eklemünde Tünelleme	12
1.2.3 SIS Eklemünde Tünelleme.....	14
1.3 YSS lerinde Pseudo aralık özelliği	17
1.4 Yük Dopingi	18
1.5 Bi2212' den Terahertz Emisyonu	19
BÖLÜM 2. DENEY	23
2.1 Amaç	23
2.2 Bi2212 tek kristallerin üretimi	23
2.3 Mesa üretimi	25
2.4 R-T ve I-V ölçümleri	29
2.5 ÖJE lerden yayılmanın bolometrik dedeksiyonu	31
BÖLÜM 3. SONUÇLAR	33
3.1 Mesa kalınlık ölçümlerinin sonuçları	33
3.2 Elektriksel Sonuçlar	38
3.2.1 Bi2212 içinde c eksenini direncinin sıcaklığa bağıllığı	38
3.2.2 Bi2212 tek kristalinin tünelleme karakteristikleri	42
3.3 Mesadan Işımanın Bolometrik Algılanması	49
BÖLÜM 4. TARTIŞMA.....	57
KAYNAKÇA	59

ÖZET

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin katmanlı kristal yapısı özelliğini kullanarak c-ekseni boyunca varolan özgün Josephson eklemlerin yüksek frekans üreten aygıtlar olarak kullanımının önemi büyüktür. Mesa haline getirilen özgün Josephson eklemlerinin a-b düzleminde frekansı ayarlanabilir terahertz titreştiricilerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılacak süperiletken, optimal doping yapılmış $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ (Bi2212) için kritik sıcaklık 95 K dir ve bu süperiletken tek kristal olarak kusursuz yapıda büyük boyutlarda büyütülebilmektedir. a-b düzlemine paralel CuO_2 tabakalarından oluşan bu üstünörgü yapıyı Bi-O ve Sr-O tabakaları ayırmaktadır. CuO_2 süperiletken özellik gösterirken, diğer katmanlar yalıtkan özellik gösterip süperiletken-yalıtkan-süperiletken-yalıtkan... (SISI...) özgün Josephson eklemlerini oluşturur. Bu çalışmada tek kristal Bi2212 fotolitografi ve iyon demeti yöntemleri ile $100 \times 300 \mu\text{m}^2$ mesa haline getirilip ve c-ekseni boyunca akım sürülüp I-V karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen mesaların yükseklikleri $1 \mu\text{m}$ civarındadır. I-V sonuçları özgün Josephson eklemlerinde aşırı sanki-parçacık tünellemesinin olduğunu ve ısınma oluşturduğunu göstermiştir. Bu yerel ısınma sıcaklık duyargaları tarafından ölçülemediğinden, bazı araştırma grupları tarafından ısınma probleminin kabul edilmesi uzun yıllar almıştır. Isınmayı engellemek için, c-ekseni boyunca tünelleyen sanki-parçacık akımını azaltmak gerekir. Bi2212'de tünelleme akımı, CuO_2 katmanları arasındaki yalıtkanın kalınlığı ile ters orantılı olduğundan bu çalışmada Bi2212 örnekler Ca-zengin ve az oksijen doping (underdoping) haline getirilmiştir ve terahertz radyasyon yaymasına olanak sağlayacak rezonans koşulunun yaratılması sağlanmıştır. Sıcaklığa bağlı akım-gerilim özelliklerinde incelenip, terahertz ışınımı dedekte edebilen bolometre ile ışınım yaptığı gerilim değerleri ve ışınım yaptığı en yüksek sıcaklık bulunmuştur. Şimdiye kadar THz ışınım elde edilemeyen küçük bir katı hal aygıtı olan mesalardan yüksek frekanslı ışınım (0.35 ile 0.85 THz arasında değişen) üretilmiştir. Terahertz rezonans koşulundaki değişimler dolayısıyla tasarlanan dalga üreticinin geometrik rezonans koşulunu sağladığından frekansının ayarlanabileceği atomik kuvvet mikroskopu ve bolometre çalışmalarından elde edilmiştir.

ABSTRACT

By using the layered crystal structure property of high temperature superconductors, the usage of intrinsic Josephson junctions present along the c-axis as a high frequency generating devices is too important. This also enables the making of frequency tunable terahertz oscillators along the a-b plane of Josephson junctions formed into a mesa. The critical temperature of optimally doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ (Bi2212), which can be used for this aim, is 95 K and this superconductor can be grown perfect structure in large dimensions. BiO and SrO layers separate this superlattice structure which is formed by CuO_2 layers parallel to the ab-plane. While CuO_2 shows superconductor behaviour, other layers show insulator behaviour and form superconductor - insulator - superconductor-insulator... (SISI...) intrinsic Josephson junctions. In this study, Bi2212 single crystal was shaped into mesa with size of $100 \times 300 \mu\text{m}^2$ by using photolithography and ion beam etching techniques and I-V characteristics were obtained by driving a current along the c-axis. The heights of obtained mesas are about $1 \mu\text{m}$. The IV results show that there is too much quasiparticle tunneling and produces heat. As this local heating could not have been measured by temperature sensors, the acceptance of the presence of the heating problem by some research groups had taken years. To prevent from heating effect, quasiparticle current which tunnel through the c-axis must be decreased. Since the tunneling current in Bi2212 is inversely proportional to the thickness of insulator between CuO_2 layers, in this study, samples were rendered Ca-rich and poor oxygen doping (underdoping) and creating the resonance conditions that provide the terahertz radiation emission was enabled. Temperature dependent I-V characteristics were investigated and the voltage values in which the device radiates terahertz emission and the highest temperature that the device radiates were measured by using a bolometer which can be detect terahertz radiation. High frequency radiation (varying between 0.35 - 0.85 THz) has been produced by mesas that are small solid state devices and from which terahertz radiation has not been obtained until now. Due to the changes in the resonance condition, designed wave generator's frequency can be tuned because it enables geometric resonance condition and this was verified by AFM and bolometer measurements.

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Şekil 1.1. Bi2212 fazına ait BSCCO kristal yapıları	10
Şekil 1.2. NIN eklemünde tünelleme	11
Şekil 1.3. Bose yoğunlaşması gösterimi ile SIN tünelleme işlemi ve $T=0$ K deki akım-voltaj karakteristikleri	12
Şekil 1.4. $0 < T < T_c$ iken SIN eklemindeki Fermi seviyesi yakınındaki DOS ve sıcaklıkla tünelleme akımının değişimi	13
Şekil 1.5. İki özdeş süperiletken arasındaki tek elektron tünellemesinin Bose yoğunlaşması gösterimi.....	14
Şekil 1.6. $T=0$ K de sanki-parçacık ve Cooper çifti tünellemesi ile SIS eklemının I-V karakteristikleri.....	15
Şekil 1.7. Sanki-parçacık dallarıyla 4.2 K de Bi2212 nin tünelleme karakteristikleri.....	16
Şekil 1.8. Bi2212 yapısında HgBr2 interkalasyon gösterimi	17
Şekil 1.9. Under-doped bölgesinde Bi2212 nin c-ekseni I-V karakteristiklerinin sıcaklık değişimi.....	18
Şekil 1.10. Artan boşluk konsantrasyonu ile cuprate süperiletkenlik özelliklerinin değişimi.....	18
Şekil 1.11. Farklı doping seviyelerinde c-ekseni öz direncine karşı sıcaklık değişiminin gösterimi.....	19
Şekil 1.12. THz emisyonunun şematik diyagramı	21
Şekil 1.13. THz ışınması emisyonu için Bi2212 üzerindeki elektriksel kontakların ve mesanın şematiği	21
Şekil 1.14. Dengesiz sanki-parçacık popülasyonlarını gösteren Josephson eklemının şematik enerji diyagramı.....	22
Şekil 2.1. Floating zone metodu ile kristal büyötmek için çift elips göröntü fırınları	24
Şekil 2.2. Mesa üretimi için başlangıç basamakları	25
Şekil 2.3. Vakumda ısıl buharlaştırma sistemimizin şematik gösterimi	26
Şekil 2.4. Fotolitografi işlemlerimizin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.5. İyon demeti aşındırma sistemimizin şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.6. Mesanın küçük bir alanı üzerinde üç nokta kontak tekniği.....	29
Şekil 2.7. Kapalı döngü soğutma sistemimizin şematiği.....	30
Şekil 2.8. Elektriksel kurulumumuzu şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.1. İyte mesa1 üzerindeki altın katmanı step yüksekliğı analizleri.....	34

Şekil 3.2. HB26 örneği üzerindeki altın katmanı basamak yüksekliği analizleri.....	34
Şekil 3.3. HB26nın basamak yüksekliği ve yanal açı analizleri.....	36
Şekil 3.4. HB28in basamak yüksekliği ve yanal açı analizleri.....	37
Şekil 3.5. Mesa üzerindeki bölgelerin yanal açıları	38
Şekil 3.6. iyte-mesa1 in dirence karşı sıcaklık değişimleri.....	40
Şekil 3.7. HB26nın dirence karşı sıcaklık değişimleri	40
Şekil 3.8. HB28 in dirence karşı sıcaklık değişimleri	41
Şekil 3.9. HB34 ün dirence karşı sıcaklık değişimleri	41
Şekil 3.10. HB26 nın I-V ölçümleri.....	43
Şekil 3.11. HB28 in I-V ölçümleri.....	44
Şekil 3.12. iyte-mesa1 in I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi.....	46
Şekil 3.13. HB26 nın I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi.....	46
Şekil 3.14. HB28 in I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi.....	47
Şekil 3.15. HB34 ün I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi.....	47
Şekil 3.16. iyte-mesa1 in Josephson kritik akımının sıcaklıkla değişimi.....	48
Şekil 3.17. 21 K de HB26 nın bolometre ve I-V ölçümleri.....	50
Şekil 3.18. 25 K de HB28 in bolometre ve I-V ölçümleri.....	51
Şekil 3.19. 20 K de HB33 ün bolometre ve I-V ölçümleri	51
Şekil 3.20. 15 K de HB34 ün bolometre ve I-V ölçümleri	52
Şekil 3.21. 24 K de HB35 in bolometre ve I-V ölçümleri.....	52
Şekil 3.22. KK02 nolu mesanın R-T ölçümü.....	53
Şekil 3.23. 20 K de KK02 nolu mesanın I-V ölçümü.....	54
Şekil 3.24. 20 K de KK02 nolu mesanın bolometre-besleme ölçümü.....	55
Şekil 3.25. 20 K de KK02 nolu mesanın filtre ölçümü.....	55

TABLULARIN LİSTESİ

	Sayfa Numarası
Tablo 3.1. Mesaların AFM sonuçları ve mesa üretim işlemindeki deneysel parametreleri.....	38
Tablo 3.2. Ca katkılı Bi2212 tek kristali üzerindeki mesanın direncinin değişimi.....	39

BÖLÜM 1

Özgün Josephson Eklemlerinin Tünellemesi

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ (Bi2212) gibi tek kristal yüksek sıcaklık süperiletkenleri (YSS) katmanlı yapıya sahiptirler ve süperiletken-yalıtkan-süperiletken (SIS) çoklu eklemlerinin doğal yığınları özgün Josephson eklemleri (ÖJE) olarak adlandırılır. Bi2212 nin c eksenini boyunca tünelleme ölçümlerini kapsayan son zamanlardaki deneyler süperiletken CuO_2 katmanlarının blok katmanları boyunca Josephson etkisiyle bağlandığını doğrulamak amacıyla yapılmıştır (Tachiki ve diğ., 1995). Yeni YSS lerin temel deneysel özelliklerini açıklayan teorik modeller fizik dünyasında tam olarak etkin değilken mükemmel katmanlı kristal yapılı Bi2212 tek süperiletkenlerinde tünelleme özgün Josephson eklemlerini anlamak için fizikçiler için zengin bir alandır. Ayrıca, vorteks fiziği ve süperiletken elektronikteki birçok uygulama için güçlü araçlardır (Yurgens 2000). Son zamanlardaki araştırmalarda tercih edilen uygulama alanlarından biri THz ışınması üretme amacına olanak tanımlar. Bu çok önemlidir çünkü çok yönlü ışınma için kompakt katı hal kaynaklarına ihtiyaç vardır. ÖJE etkisinin T-ışınlarının üretiminde çok önemli bir rolü vardır, bu yüzden katmanlı YSS lerdeki araştırmalar T-ışınları üretimi için güncelleştirilmiştir.

T-ışınlarını çok önemli yapan onların frekans aralıklarıdır, çünkü bu aralıkta birçok molekül dönme ve titreşme modlarına sahiptir. Katmanlı yapılarda elektromanyetik dalgaları uyarmak için birçok fikir önerildi ve denendi, bunların içinde manyetik alan uygulamasında hareketli Josephson vortislerini kullanmak oldukça popülerdir. Özellikle üretilen dalgaların koherent, sürekli ve ayarlanabilir frekanslı karakteristikleri YSS lerden beklenir, araştırmacılar ÖJE tünellemesinin karakteristiklerine dayanan güçlü T-ışını üretimi ile fazlasıyla ilgilenirler (Batov ve diğ., 2006). Güçlü T-ışınları büyük yanal alanlı mesalar gerektirir. Bu çalışmada kristal üzerindeki mesanın boyutları koherent, sürekli ve oldukça büyük THz emisyonu üretmek için tasarlandı. THz emisyonunu üretmede hem uzun mesanın boyutunun hem de Bi2212 kristalinin özelliklerinin önemi (Ozyuzer, ve diğ., 2007) tarafından yayınlanan makalede bahsedilmiştir. Bu çalışmada süperiletken Bi2212 tek kristali içindeki elektromanyetik oyuk rezonansının uyarımı kullanılarak gerekli özelliklerde THz emisyonu üretmeyi başardılar ve emisyon gücünde mesanın alanı ve yüksekliğinin etkisi kanıtlandı. THz ışınmasının kompakt kaynaklarındaki gelişmeler bu çalışmada yer almaktadır. Makaledeki çalışmada belirtildiği gibi, birçok ÖJE kapsayan büyük alanlı mesalar üretildi ve süperiletken Bi2212 den THz emisyonu elde etmek planlanıyor. Öte yandan, bu çalışmada bahsedeceğimiz CuO_2 katmanları arasındaki güçlü birleşme sebebiyle, geniş Bi2212 mesalar yüksek gerilimde ısınma sorununa maruz kalırlar.

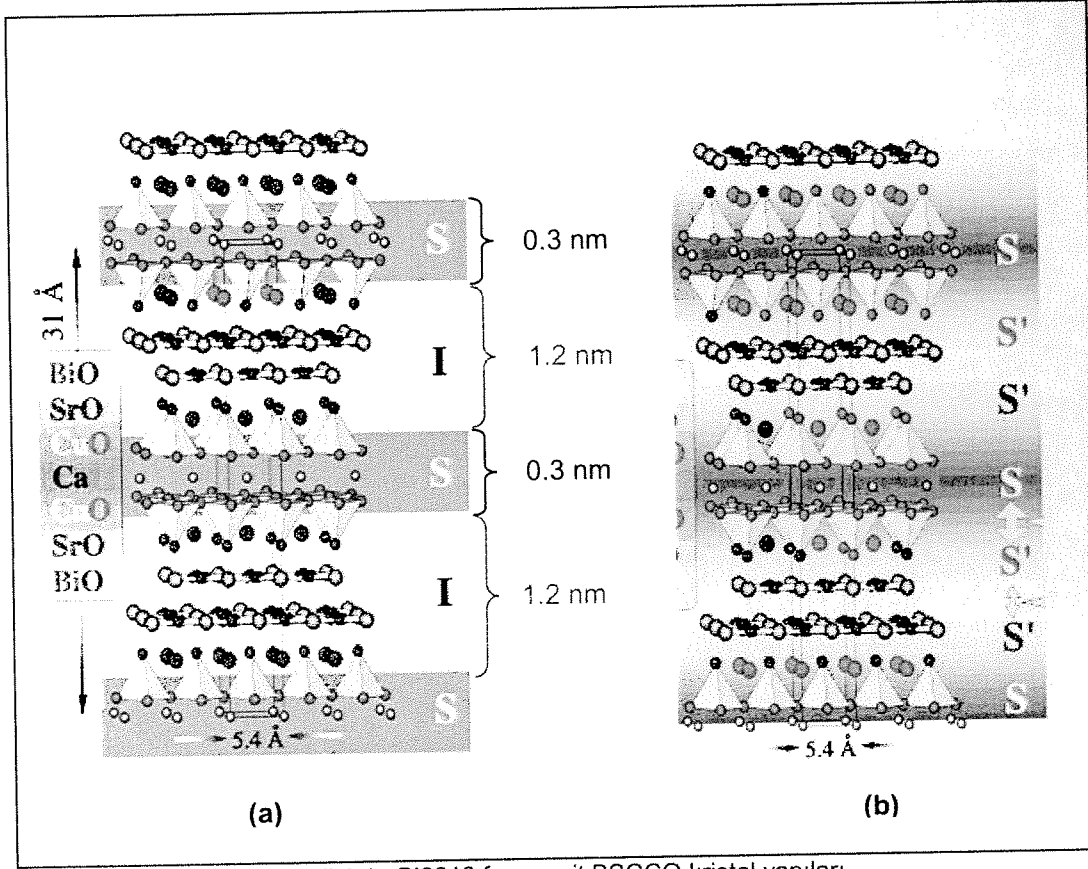
1.1. BSCCO kristal yapısı ve fiziksel özellikleri

Son 20 yıldır çalışılan YSS lerin Bizmut tabanlı ailesi $\text{Bi}_n\text{Sr}_n\text{Ca}_{(n-1)}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+d}$ (BSCCO) ile formülüne edilen faza sahiptir. Bilindiği üzere BSCCO, kritik sıcaklığı $T_c < 20$ K olan BSCCO($n=1$) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$ (Bi2201) (Akimtsu ve diğ., 1987), kritik sıcaklığı $T_c=90$ K olan ($n=2$, Bi2212 fazı) ve kritik sıcaklığı $T_c=110$ K (Moeda ve diğ., 1988) olan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+d}$ (Bi2223 fazı) gibi üç fazdan oluşur. BSCCO süperiletken CuO_2 tabakalarının, yalıtkan Bi-O ve Sr-O tabakaları arasında c eksenini boyunca ardışık olarak yerleştiği kristal yapıya sahiptir. Burada süperiletkenlik 0.3 nm kalınlığındaki CuO_2 tabakalarıyla sınırlıdır. Pasif ayırıcılar ya da yük deposu olarak davranan BiO ve SrO tabakaları kalınlığı 12Å olan orta düzlemdir. BSCCO tek kristalindeki süperiletken ve yalıtkan tabakaları açıklayan model "çok katmanlı model" olarak bilinir. Doğal olarak üst üste binmiş olan ve her bir eklemin yalnızca 1.5 nm olduğu (Şekil 1.1) süperiletken-yalıtkan-süperiletken (SIS) çoklu eklemleri "özgün Josephson eklemleri" olarak isimlendirilir. Ayrıca, n parametresi süperiletken tabakaların sayısına denk gelir. Örneğin, Bi2212 faz yapısı Ca tabakasıyla ayrılmış iki adet CuO_2 katmanlarından oluşur. Bi2212 'nin birim hücre örgü sabitleri $a=b=5.4$ ve $c=31\text{Å}$ olan pseudo-tetragonal simetriye sahiptir. Bunu izleyen üst üste binmiş atomik katmanlar şu şekildedir; $(\text{BiO})_2 / \text{SrO} / \text{CuO}_2 / \text{Ca} / \text{CuO}_2 / \text{SrO} / (\text{BiO})_2 / \text{SrO} / \text{CuO}_2 / \text{Ca} / \text{CuO}_2 / \text{SrO} / (\text{BiO})_2$.

Yapı tiplerine göre Bi2212 kristal yapısında iki tür katman bulunur. Biri $\text{SrO}/\text{CuO}_2/\text{Ca}/\text{CuO}_2/\text{SrO}$ dan oluşan perovskite yapı, diğer: $\text{SrO}/(\text{BiO})_2/\text{SrO}$ yu içeren NaCl tipini içerir. ÖJE'lerde oluşan Bi2212 YSS' lerin katmanlı yapısı kristal anizotropik malzeme yapar. Bundan dolayı, kristalin a-b düzlemlerinin elektriksel davranışlarının aksine c eksenini boyunca yalıtkan tabakalarla ayrılmış süperiletken (CuO)

tabakalar arasında Josephson tünellemesi gerçekleşir. Bunun yanında, katmanlı yapıdaki YSS ler farklı yönlerde farklı koherent uzunluğuna ve farklı girişkenlik derinliğine sahiptir.

a-b düzlemindeki koherens uzunluğu ξ_{ab} (20 ile 40 Å arasında) c ekseninde boyunca olan koherens uzunluğundan ξ_c (≈ 1 Å) daha büyüktür. Bi2212 nin küçük koherens uzunluğuna rağmen, girişkenlik derinliği λ_{ab} 2000Å' a eşittir. Bu, Ginzburg-Landau parametresi κ 100 den daha büyük olan Bi2212'nin ikinci tip süperiletken davranışı sergileyeceği anlamına gelir.



Şekil 1.1. Bi2212 fazına ait BSCCO kristal yapıları

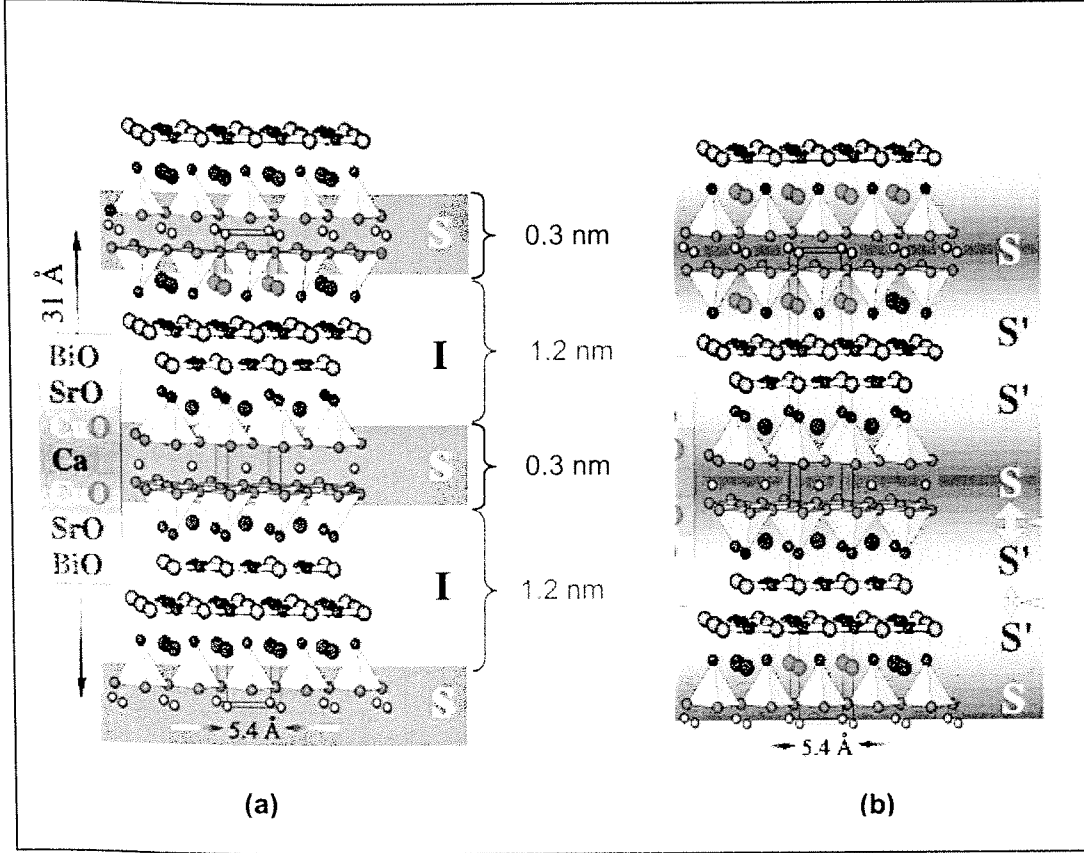
Diğer taraftan, 1 Å' un altındaki küçük koherens uzunlukları Josephson tünellemesini Cu-O tabakaları arasında uzun mesafeler boyunca zorlaştırır. Çok katmanlı modeldeki Josephson tünellemesindeki zorluklara karşın, Bi2212 yapısındaki süperiletkenliği tanımlayan diğer modelden bahsetmek bir gerekliliktir. Bu, Bi-O tabakalarının süperiletkenliğe birlikte katkıda buldukları bir proximing modeldir. Şekil 1.1.b Bi2212 ye ait proximing model kabulünü ve SS'-I-SS' olan ÖJE nin şematiğini gösterir. Josephson tünellemesi, Bi-O katmanları arasında küçük mertebe parametreleri ve kuvvetli proximing çiftlenimiyle gerçekleşir. Bu, tünellenmenin meydana geldiği ÖJE deki güçlü sıcaklık bağımlılığını ve enerji aralığı parametresinin küçük değerlerinin nedenini açıklar. Bundan dolayı, Josephson tünellemesi Bi-O katmanlarının daha zayıf süperiletkenliğe (S') karşılık gelen daha küçük enerji aralığı gösterir (Yurgens ve diğ., 1996)

1.2 TÜNELLEME SPEKTROSKOPİSİ

Bi2212 tek kristal yapının özgün Josephson eklemleri olarak adlandırılan SIS çoklu katmanların doğal yığınlarında olduğu gibi katmanlı yapısından dolayı, YSS lerin geniş anizotropik elektriksel davranışları zengin bir süperiletken kaynağı olarak düşünülür. C ekseninde boyunca olan akım -voltaj(I-V) karakteristiğindeki geniş histerisiz ve çoklu dallanmalar araştırmacılar için sadece ilgi çekici olmakla

tabakalar arasında Josephson tünellemesi gerçekleşir. Bunun yanında, katmanlı yapıdaki YSS ler farklı yönlerde farklı koherent uzunluğuna ve farklı girişkenlik derinliğine sahiptir.

a-b düzlemindeki koherens uzunluğu ξ_{ab} (20 ile 40 Å arasında) c eksenı boyunca olan koherens uzunluğundan ξ_c (≈ 1 Å) daha büyüktür. Bi2212 nin küçük koherens uzunluğuna rağmen, girişkenlik derinliği λ_{ab} 2000Å 'a eşittir. Bu, Ginzburg-Landau parametresi κ 100 den daha büyük olan Bi2212'nin ikinci tip süperiletken davranışı sergıleyeceği anlamına gelir.



Şekil 1.1. Bi2212 fazına ait BSCCO kristal yapıları

Diğer taraftan, 1 Å 'un altındaki küçük koherens uzunlukları Josephson tünellemesini Cu-O tabakaları arasında uzun mesafeler boyunca zorlaştırır. Çok katmanlı modeldeki Josephson tünellemesindeki zorluklara karşın, Bi2212 yapısındaki süperiletkenliği tanımlayan diğer modelden bahsetmek bir gerekliliktir. Bu, Bi-O tabakalarının süperiletkenliğe birlikte katkıda buldukları bir proximing modeldir. Şekil 1.1.b Bi2212 ye ait proximing model kabulünü ve SS'-I-SS' olan ÖJE nin şematisini gösterir. Josephson tünellemesi, Bi-O katmanları arasında küçük mertebeli parametreleri ve kuvvetli proximing çiftlenimiyle gerçekleşir. Bu, tünellenmenin meydana geldiği ÖJE deki güçlü sıcaklık bağımlılığını ve enerji aralığı parametresinin küçük değerlerinin nedenini açıklar. Bundan dolayı, Josephson tünellemesi Bi-O katmanlarının daha zayıf süperiletkenliğe (S') karşılık gelen daha küçük enerji aralığı gösterir (Yurgens ve diğer., 1996)

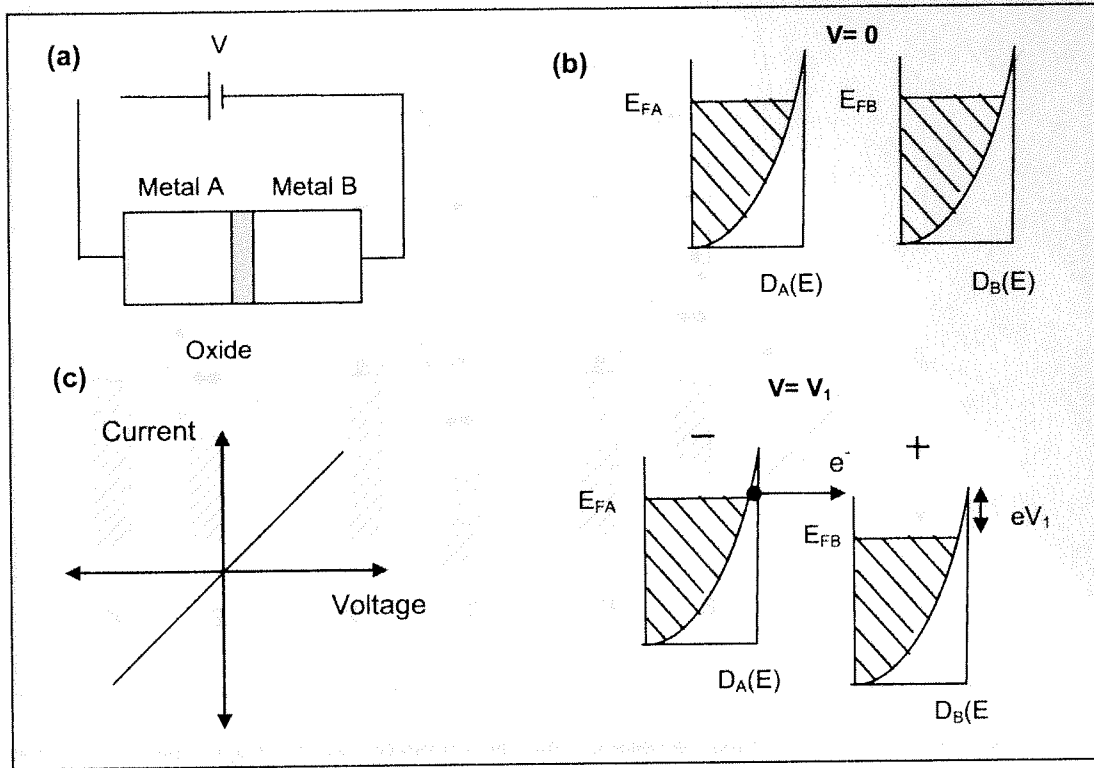
1.2 TÜNELLEME SPEKTROSKOPİSİ

Bi2212 tek kristal yapısının özđün Josephson eklemleri olarak adlandırılan SIS çoklu katmanların doğal yığınlarında olduğu gibi katmanlı yapısından dolayı, YSS lerin geniş anizotropik elektriksel davranışları zengin bir süperiletken kaynağı olarak düşünülür. C eksenı boyunca olan akım -voltaj(I-V) karakteristiğindeki geniş histerisiz ve çoklu dallanmalar araştırmacılar için sadece ilgi çekici olmakla

kalmayıp hitap eden tünelleme spektroskopisinin içinde yer aldığı, ayrıntılı bir biçimde muhtemel YSS lerin teorileri üzerine olan sınırlamaların başlangıç noktasıdır. I-V ölçümlerinden elde edilen sonuçlar bu teoriler için kanıt teşkil eder ve birçok yapılan işin yeniden değerlendirilmesini gerektirir. Örneğin, katmanlı YSS lerin tünelleme spektroskopisi sıcaklık bağımlılığıyla birlikte süperiletken enerji aralığı değeri, ÖJE sayısı, pseudo- aralık, çiftleşme mekanizması ve engelleyici tabakalar boyunca çiftlerin üzerine çok önemli bilgiler sağlar. Dahası, manyetik uygulamalarında, YSS lerdeki girdap sistemlerinin özelliklerini elde etmek için öncelikli öneme sahiptir. Bundan dolayı araştırmacılar tünelleme spektroskopisini de kapsayan deneyler üzerine odaklanmıştır (Zasandzinski 2002). Yukarıda bahsedilen YSS lerin tünelleme sonuçlarına daha fazla detay eklemeyen önce, temel tünelleme olayını kısaca hatırlatmak iyi olacaktır.

1.2.1 Temel Tünelleme Fenomeni

Kuantum mekaniği etkisi olarak bilinen tünelleme, bir parçacığın klasik olarak yasaklanmış bir enerji durumu yada potansiyel engeli boyunca geçişine dayanır. Normalde, engel boyunca geçiş, sadece parçacık eğer engelin yüksekliğinden daha fazla kinetik enerji E ye sahipse düşünülebilir. Klasik mekaniğin öngörüsünün aksine, kuantum mekaniği nesnelere klasik nesnelere, bilye gibi, daha farklı kabul eder ve tünellemeyi imkanı kılar. Örneğin, ($p=mv$) momentumuyla hareket eden bir elektron ayrıca $\lambda=h/p$ ile verilen bir dalga boyuna sahiptir. Bundan dolayı, parçacığı tanımlayan dalga fonksiyonunun engelin diğer tarafına erişebilmesi mümkündür. Normal metal-yalıtkan-normal metal (NIN) eklemesinde tünellemenin olabilmesi için diğer metalin boş hedef enerji durumları vardır (Pauli ilkesi). Bu açıdan, tünelleme akımı yalnızca gelen elektron sayısına değil, ayrıca boş hedef durumların sayısına da bağlıdır (Wesche 1998).



Şekil 1.2. NIN eklemesinde tünelleme

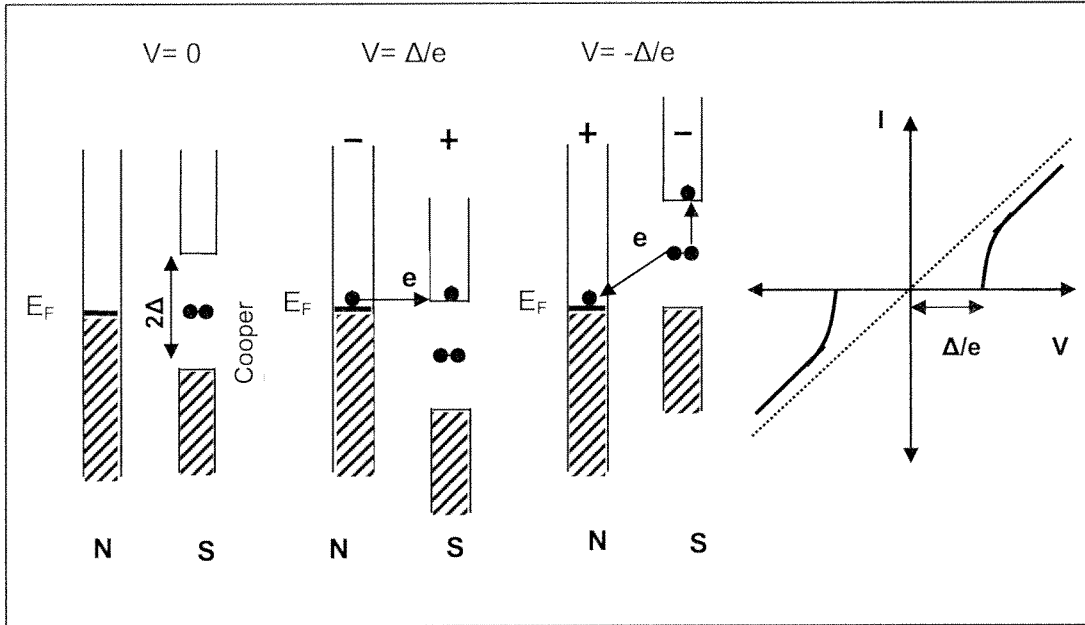
Tünelleme akımı ölçüm düzeneği, metallere için durum yoğunluğu ve NIN eklemesinin I-V tünelleme karakteristiği Şekil 1.2'de görülmektedir. Tünelleme olasılığı, potansiyel engelin genişliğine exponansiyel olarak bağlıdır. Tek boyutta izinli geçişlerin sayısını arttırmak için voltaj uygulanır çünkü tünelleme yalnızca dolu durumdan boş duruma doğru olur. Şekil 1.2b uygulanan voltaj da iki metalin Fermi enerjilerinin eV_1 farklarını gösterir ve alt bölgedeki seviyeler $T=0$ da doldurulmuştur. Şekil 1.2c tünelleme akımının değişiminin uygulanan voltaja orantılı olduğunu göstermektedir.

1.2.2 SIN Ekleminde Tünelleme

NIN ekleminde uygulanan voltajla orantılı akımın aksine, SIN ekleminde tünelleme karakteristiği süperiletkenin enerji aralığının varlığından kaynaklanan doğru çizgiden elde edilen I-V karakteristiği ile farklı davranış sergiler. Voltaj Δ/e değerine ulaşana kadar tünelleme akım akışı olmaz çünkü elektronların tünelleyebileceği uygun seviyeler yoktur. Bundan dolayı, I-V ölçümleri çoğunlukla süperiletken enerji aralığını belirlemek için kullanılır. SIN eklemlerde enerji aralığını belirlemek için I-V ölçümleri ilk kez Giaver tarafından kullanıldı (Giaver 1960). Cooper çiftleri sıfır spin e sahip oldukları için bose yoğunlaşmasıyla betimlenirler. Bundan dolayı, fermi enerjisinde aynı kuantum durumunu işgal ettiklerini söylemek yanlış olmayacaktır.

SIN tünellemesini açıklamak için yarıiletken ve bose yoğunlaşması temelleri olmak üzere iki farklı enerji seviyesi temsili vardır. Bose yoğunlaşma temsiline göre, SIN tünelleme süreci Şekil 1.3 de görülmektedir ve mutlak sıfırda bozon davranışına sahip Cooper çiftleri süperiletkenin iletkenlik bandının tabanının Δ mesafesi kadar aşağısındaki seviyelere yerleşir. Uygulanan voltaj Δ/e değerine ulaştığında, bataryanın pozitif kutbuna bağlı süperiletkenin fermi enerjisi, süperiletkenin boş enerji durumları ve normal iletkenin fermi enerjisinin aynı seviyede olduğu daha düşük değerlere kayar. Bu, elektronun normal iletkenin fermi enerjisinden süperiletkenin boş enerji seviyelerine tünelleme olasılığını artırır. SIN ekleminde süperiletken negatif kutba bağlandığında, $V = -\Delta/e$ voltajında süperiletkenin fermi enerjisi enerji aralığı değeri (Δ) kadar yukarı kayar.

Bu yüzden elektronlarından biri normal iletken tünelleyen cooper çiftlerini kırmak mümkündür. Diğer elektronlar süperiletkenin boş durumuna uyarılmak için yeterli Δ enerjisine sahiptirler (Wesche 1998).



Şekil 1.3. Bose yoğunlaşması gösterimi ile SIN tünelleme işlemi ve T=0 K deki akım- voltaj karakteristikleri

Cooper çiftlerinin kırılmasıyla meydana gelen parçacıklar sanki-parçacık olarak adlandırılırlar. Tünelleme akımını hesaplamak için, normal haldeki bir boyutlu hal yoğunluğu $N_n(E)$ ve süperiletkenlik halinde sanki-parçacık uyarılmalarının hal yoğunluğu $N_s(E)$ bilinmelidir. Bu T=0 K' de 1.1 denklemi ile verilmektedir.

$$I_{sn}(T=0) = \frac{2\pi e}{\eta} \int_{-\infty}^{\infty} |T^2| N_n(E' - eV) N_s(E') [f(E' - eV) - f(E')] dE' \quad (1.1)$$

For $\Delta < E' \leq eV$

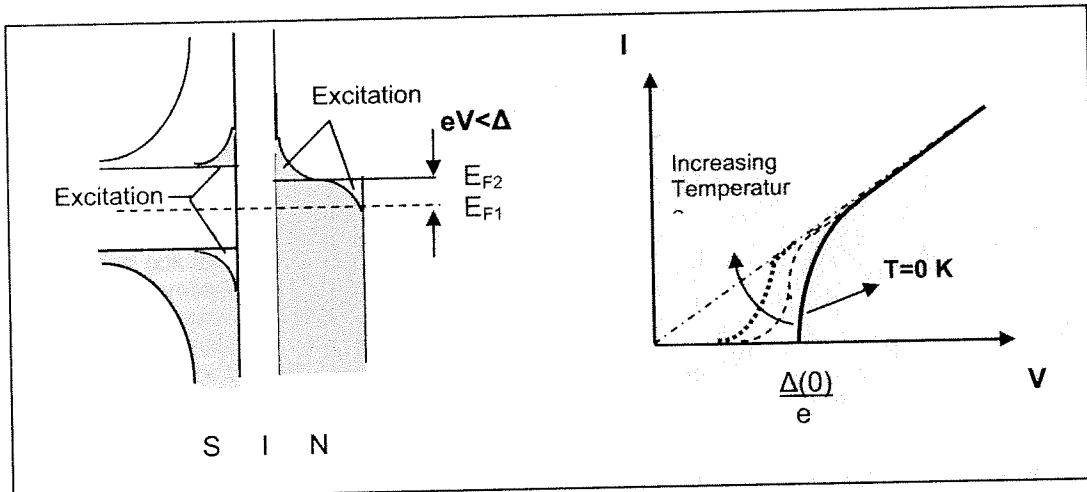
Bu denklemdede, $[T^2]$ tünelleme matris elemanıdır ve $F(E,T) = [1 + \exp(E/k_B T)]^{-1}$ Fermi-Dirac fonksiyonudur. BCS teoriye göre, 1.2 denkleminde gösterilen, yalıtkan bariyerin her iki kenarındaki hal yoğunluğu oranı I-V karakteristikleri ve süperiletkendeki sanki-parçacık hal yoğunluğu $N_s(E)$ arasında varsayım yapmamızı sağlar.

$$\frac{N_s}{N_n} = \begin{cases} 0 & |E| < \Delta \\ \frac{E}{\sqrt{E^2 - \Delta^2}} & |E| \geq \Delta \end{cases} \quad (1.2)$$

$N_n(E)$ Fermi seviyesi yakınlarında sabit olduğundan dolayı, tünelleme karakteristikleri direkt olarak sanki-parçacık uyarılmalarının hal yoğunluğuna $N_s(E)$ bağlıdır. Denklem 1.1 ve denklem 1.2'yi kullanarak ve integrali hesaplayarak dI/dV ifadesi, G_n 'in normal tünelleme iletkenliğini ifade ettiği, denklem 1.3 deki gibi yazılabilir.

$$\left(\frac{dI_{sn}}{dV} \right)_{T=0} = \begin{cases} G_n |V| / [V^2 - (\Delta/e)^2] & |eV| \geq \Delta \\ 0 & |eV| < \Delta \end{cases} \quad (1.3)$$

Enerji aralığının sıcaklığına bağlı olmasının ötesinde, üstteki denklemlerden sıcaklık ile tünelleme akımının değişimleri gibi önemli sonuçlar çıkartılabilir. Şekil 1.4 SIN eklemde Fermi seviyesi yakınındaki yoğunluğunu ve termal uyarı ile akım değişimlerini gösterir. Geleneksel süperiletkende kritik sıcaklıktan sonra aralık tam olarak gözden kaybolur, YSS'lerdeki I-V spektrumundaki faz geçişleri sırasındaki eğriden düz çizgiye doğru olan keskin geçiş pseudo-aralığının varlığındandır (Duzer ve Turner 1999).

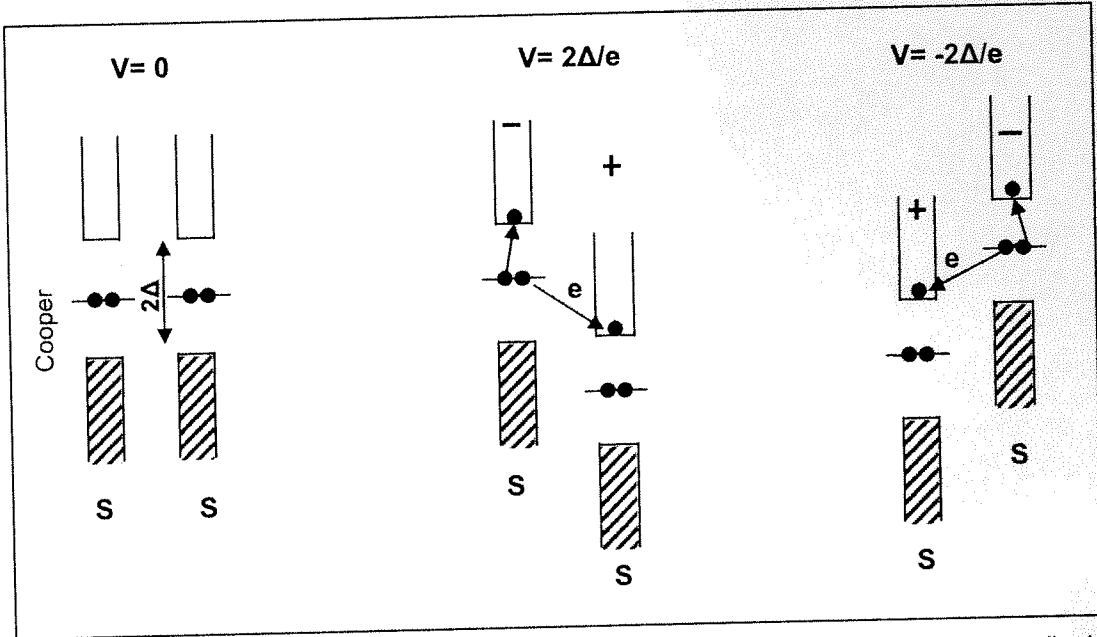


Şekil 1.4. $0 < T < T_c$ iken SIN eklemdeki Fermi seviyesi yakınındaki DOS ve sıcaklıkla tünelleme akımının değişimi

1.2.3 SIS Ekleminde Tünelleme

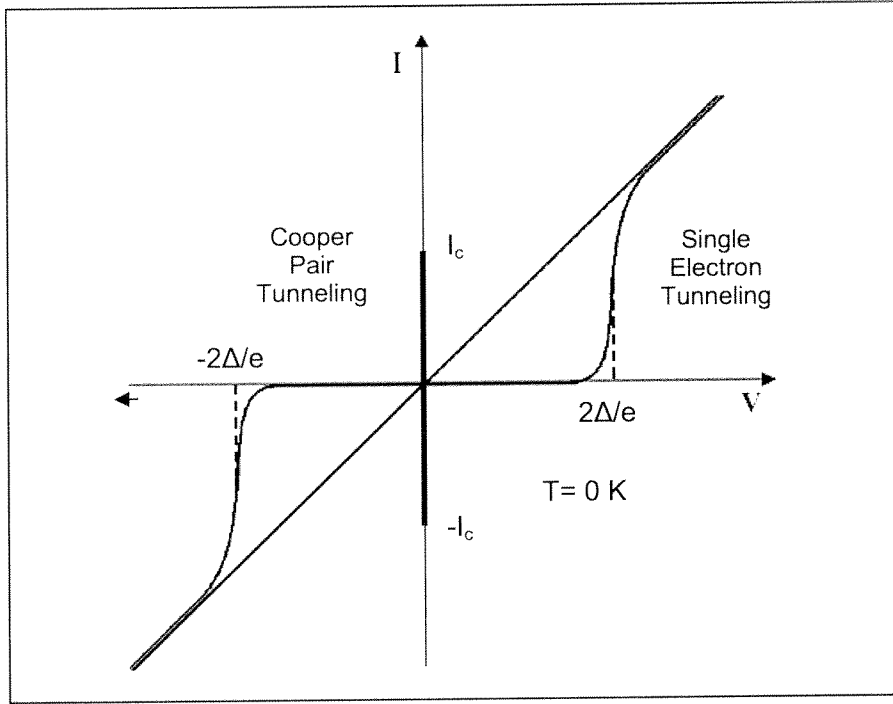
Süperiletken-yalıtkan-süperiletken (SIS) tünelleme spektroskopisinde deneylerin odak noktası, boşluk boyutunun, boşluk simetrisinin, sahte-boşluğun ve çiftleşme mekanizmasının sıcaklık değişimini kapsamak üzere geleneksel olmama sorununu direkt olarak adresleyen tek elektron tünellemesidir. Bu sebeple, geniş anizotropik özellikleri ve termal dalgalanmalarıyla YSS lerdeki tünelleme deneysel olarak birçok yeni etkinin gözlemlerini kapsayan geniş bir araştırma alanını temsil eder.

İki özdeş süperiletken arasındaki tek tünellemenin iki gösteriminden biri olan Bose yoğunlaşması (Şekil 1.5) te gösterilmiştir. Elektron tünellemesine başlamak için, bataryanın pozitif kutbuna bağlanmış ikinci süperiletkenin kaymasına sebep olan uygulanan voltajın $2\Delta/e$ değerine yükseltilmesi gerekir. Bu yüzden birinci süperiletkende Cooper çifti kırılma mümkün hale gelir ve çifte ait elektronlardan biri ikinci süperiletkenin boş enerji seviyesine tüneller. Çift kırınımından açığa çıkan enerji birinci süperiletkenin enerji boşluğu değerine eşit ya da büyük olduğu için, kırılan çiftlerin ikinci elektronu birinci elektronun yarı parçacık enerji seviyesine uygulanır. $V=-2\Delta/e$ voltajında tünellemenin yönü ters yönde değişir (Schmidt 1997).



Şekil 1.5. İki özdeş süperiletken arasındaki tek elektron tünellemesinin Bose yoğunlaşması gösterimi

SIS tünelleme spektroskopisinde, tek elektron tünellemesinden ayrı olarak, uygulanan voltaj sıfır olduğu zaman çok ince yalıtkan bir tabaka boyunca tünelleme mümkündür. 1962 de B.D. Josephson çift tünelleme akımının, eklemin iki köşesindeki etkili dalga fonksiyonlarının faz farkına bağlı olduğunu ve faz farkının dünyevi ve uzamsal bir değişken olduğunu tahmin etmişti (Josephson 1962). Uzamsal uzantıyla ξ_c parçacıklar bariyer boyunca Cooper çifti tünellemesi zor olarak görülse de, Cooper çiftlerinin kolektifliğini tanıtan dalga fonksiyonunun tünellemesi olarak iyi anlaşılabilir. Çiftleşmeyle ilgili enerji termal dalgalanma enerjisine ulaştığı zaman, Cooper çiftleri enerji kaybı olmaksızın tünelleyebilir. Josephson akımı Cooper çiftleriyle taşınır ve SIS ekleminin kritik akım değerine kadar dirençsiz geçer. Kritik akım değerine ulaştıktan sonra I-V sanki-parçacık tünelleme karakteristik değerlerine atlar (Duzer ve Turner 1999). SIS eklemlerinin I-V karakteristikleri Şekil 2.6 da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. T=0 K de sanki-parçacık ve Cooper çifti tünellemesi ile SIS eklemının I-V karakteristikleri

SIS eklemlerinde, tünelleme iletkenliği ve süperiletkenin hal yoğunluğu fonksiyonunun kıvrımları birbirleriyle doğru orantılıdır. T=0 deki SIS tünelleme akımı I_{ss} denklem 1.4 te verilmiştir.

$$I_{ss} = \frac{G_n}{e} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|E' - eV|}{\sqrt{[(eV - E')^2 - \Delta^2]}} \frac{|E'|}{\sqrt{(E'^2 - \Delta^2)}} [f(E' - eV) - f(E')] dE \quad (1.4)$$

G_n iki özdeş süperiletken arasında tünelleme meydana geldiğindeki normal tünelleme iletkenliğidir. $V = \Delta/e$ voltajındaki tünelleme akımı I_{ss} ,

$$I_c = \frac{1}{2} \pi \left(\frac{G_n}{e} \right) \Delta_{(0)} \quad (1.5)$$

Şeklinde gösterilir ve Josephson akımı olarak bilinir. Ancak Şekil 1.6 da görülen I-V karakteristikleri sıcaklık mutlak sıfırdan yükseldiğinde termal uyarıya bağlı olarak değişecektir. Bu yüzden durum yoğunluğu (DOS) ve enerji aralığı sıcaklıkla azalacaktır (Duzer ve Turner 1999).

YSS oyuklarındaki süperiletken enerji aralığı yapısı sadece sıcaklığa değil ayrıca yöne de bağlıdır. Geleneksel süperiletkenlerdeki enerji aralığı k uzayında sabitken (s dalga simetrisi), d dalga çifleşme simetrlili YSS fermi yüzeyinde anizotropik enerji aralığına sahiptirler. İki boyutlu süperiletkenlerin BCS tipi etkileşmesiyle tanımlana d-dalgası DOS;

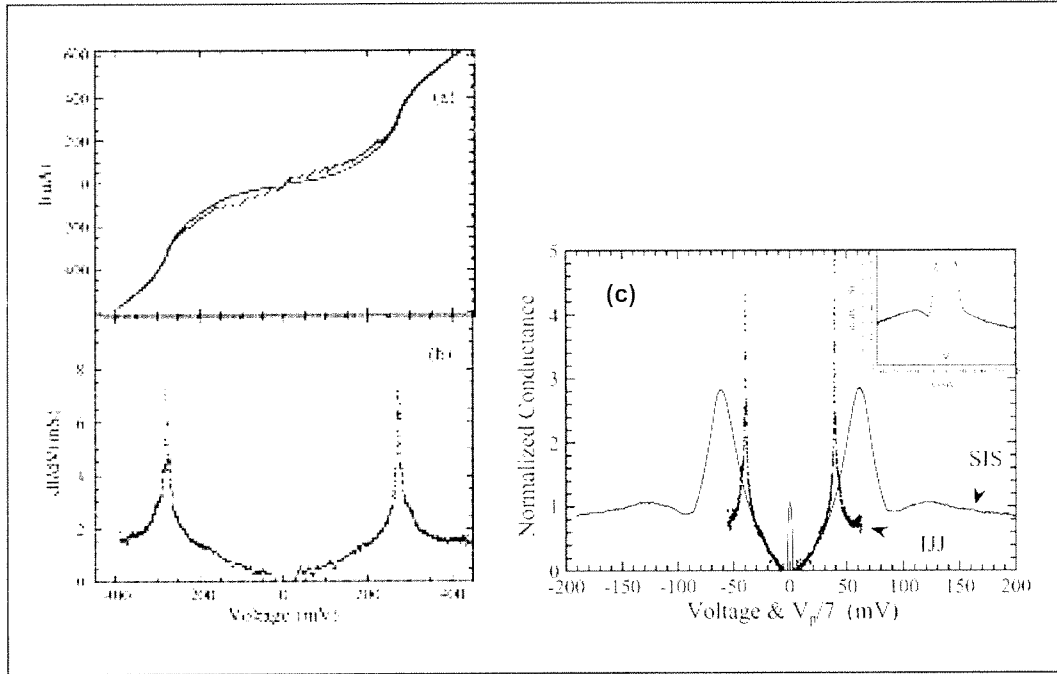
$$N_s(E, k) = \text{Re} \left\{ \frac{E - i\Gamma}{\sqrt{(E - i\Gamma)^2 - \Delta(k)^2}} \right\} \quad (1.6)$$

Şeklinde de ifade edilir. Γ sanki-parçacık ömrünü açıklayan smearing parametresidir ve k enerji aralığına maksimum aralıklı $\Delta(k) = \Delta \cos(2\Phi)$, Δ ve k uzayında polar açığa bağlıdır (Won ve Maki 1994).

Enerji aralığının sıcaklık bağılılığı alttaki denklemle ifade edilir (k_B Boltzman sabiti) (Bardeen ve diğ., 1957).

$$\Delta(T) = 3.2 k_B T_c (1 - T/T_c)^{1/2} \quad (1.7)$$

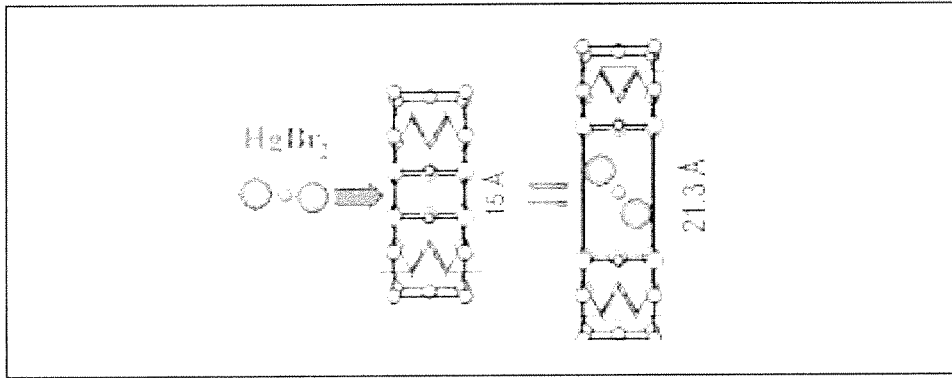
SIS eklemi tünelleme spektroskopisinde, 1.5 nm kalınlıklı SIS çoklu eklemelerinden (Özgün Josephson Eklem, ÖJE) dolayı Bi2212 gibi yüksek anizotropik katmanlı YSS lerinin c eksen tünellemesi mümkün teorileri limitlendirmede çok önemlidir. Bu sebeple, ÖJE sadece araştırmalar için ilginç bir konu değildir. Ayrıca süperiletken elektroniği uygulamalarında vortislerin fiziğinin de kapsamak üzere YSS lerin doğasını anlamak için güçlü bir araçtır. Doğal ÖJE yığınları boyunca katmanlı YSS lerinin I-V karakteristikleri, ön gerilim akımı her eklem için kendilerine özgü kritik akımına ulaştığı zaman her eklem için Josephson durumundan sanki-parçacık durumuna bireysel anahtarlamasından dolayı birçok dal içerir (Yurgens 2000). Bu yüzden her bir eklem tüm eklemelerin büyük voltaj aralıklarında tek dal gibi davranır ve dallar bu voltajlara hemen hemen diktir Bi2212 nin c eksen elektriksel davranışlarını daha iyi anlamak için, bu elektriksel davranışları deneysel I-V datalarını kapsayan grafikler boyunca I-V in ve 4.2 K da dI/dV -V grafiklerini gösterir (Ozyuzer ve diğ., 2005). Bu çalışmada hem ÖJE hem de SIS eklemelerinin I-V karakterlerinin karşılaştırılması aynı kristalde gözlemlendi, enerji aralık değerlerindeki farklar ve I-V karakteristik özellikleri anlaşıldı. Yedi bireysel ÖJE'de ve dI/dV ye karşılık olan I-V grafiğinde yedi sanki-parçacık dalları (Şekil 1.7.a ve Şekil 1.7.b) de sırasıyla görülebilmektedir. Yedi dala sahip olduklarından dolayı tünelleme iletkenlik piki $2\Delta/e$ değerini elde etmek için yediye bölünür. Eğer ÖJE, I-V verisinden elde edilen Δ değeri ve SIS eklemelerinin enerji aralığı Δ arasında (Şekil 1.7.c) deki karşılaştırma dikkate alınır, ÖJE tünellemesinde Δ 'nın az olarak tahmin edilen değeri gözlemlenebilir. Düşük enerji aralığı değerinin sebebi ÖJE yığınlarındaki lokal ısınma alanında meydana gelen bath sıcaklığındaki sıcaklık fazlalığıdır. Ayrıca ısınma etkisi ÖJE ' lerde dip ve hump özelliklerinin yok olmasına sebep olur. Isınma etkisinin tesirleri ve tünelleme ölçümlerinde dengesizlik Bi2212' deki ÖJE'nin istenmeyen negatif karakteristikleridir çünkü Bi2212' deki lokal alanlarda süperiletkenliğin kaybına sebep olurlar. Dip ve hump özelliklerinin yokluğunun ötesinde, SIS eklemelerindeki piktense ÖJE tünelleme karakteristiklerindeki keskin iletkenlik piki gözlemlenir. Ayrıca çalışmada, enerji aralığının sıcaklık değişimi incelendi ve artan sıcaklıkla hem SIS eklemelerinde hem de ÖJE den edilen Δ değerlerinin arttığı gözlemlendi. Bu yüzden enerji aralığının sıcaklık bağılılığından tahmin edilir ve ayrıca enerji aralığı kritik sıcaklığın üstünde kaybolur ama bu böyle değildir. $20 T_c$ ' nin üzerindeki aralık özelliği YSS lerin özelliği olarak pseudo-aralık ifadesi ile devam eder (Ozyuzer ve diğ., 2005). Enerji aralığının güçlü sıcak bağılılığı ve Bi2212 süperiletkeninin pseudo-aralık özelliği birçok çalışmada gözlemlenmiştir.



Şekil 1.7. Sanki-parçacık dallarıyla 4.2 K de Bi2212 nin tünelleme karakteristikleri

YSS'lerin düşük termal iletkenliği süperiletken yapısında lokal fazla ısınmaya sebep olur. Quasi-parçacık durumunda ÖJE'lerin sayısı arttıkça, fazla ısınma artar ve I-V eğrilerinde daha küçük voltaj atlamaına sebep olur. Ayrıca yüksek iletimli ÖJE tünelleme bariyeri (Bi2212 de 3 Å kalınlık civarında) boyunca kolay sanki-parçacık öz enjeksiyonu olan dengesizlik etkisi yapıda ısınma etkisini artırır. Bu etki ayrıca alt-aralık bölgesindeki I-V eğrisinin arka-kıvrımına uzanır. Yığınlardaki ısınma etkisini indirmek için, çeşitli girişimlerden biri ısı iletim geliştirilmesine uzanan mesanın yanıl alanlarını azaltmaktır. Ancak, eklemel boyunca birim alandan aynı akım geçtiğinden dolayı, dengesizlik etkisi hala vardır ve Joule ısınmasına sebep olur (Zasadzinski 2002). Bu sebeple bu metot I-V eğrilerindeki enerji aralıklarını gözlemede kısmen başarılıdır. Diğer bir metot ÖJE'de Joule ısınmasından dolayı aralık baskısından farklı olarak serbest I-V karakteristiği sağlayan kısa akım atmalı tünelleme ölçümleri kullanılmaktadır (Suzuki ve diğer., 1999).

Diğer bir etkili metot eklem direncini artırmak için c eksenini boyunca katmanlı süperiletken maddesini genişletme işlemi olan interkalasyondur. Bu yolla bariyer boyunca tünelleyen quasi-parçacıkların sayısı azalır. Diğer bir bakıma, süperiletken katmanları arasındaki birleşmede ve kritik sıcaklıkta azalmaya sebep olur. İnterkalasyon reaksiyonu buharlaştırma reaksiyonuyla sürdürülür ve bu reaksiyonda **HgX₂** (X=Br,I) molekülleri gibi maddeler kullanılır (Ohashi ve diğer., 2004). Şekil 1.8 Bi2212 yapısında bitişik BiO katmanları içinde **HgBr₂** molekülünün nasıl eklendiğini gösterir ve Bi2212' nin c eksenini boyunca genişleme meydana gelir. Kristalin c eksenini boyunca eklemeyele homojen bir genişleme elde etmenin zorluğu vardır. Bu X-ışın kırınımı (XRD) sonuçlarına göre analiz edilmiştir.

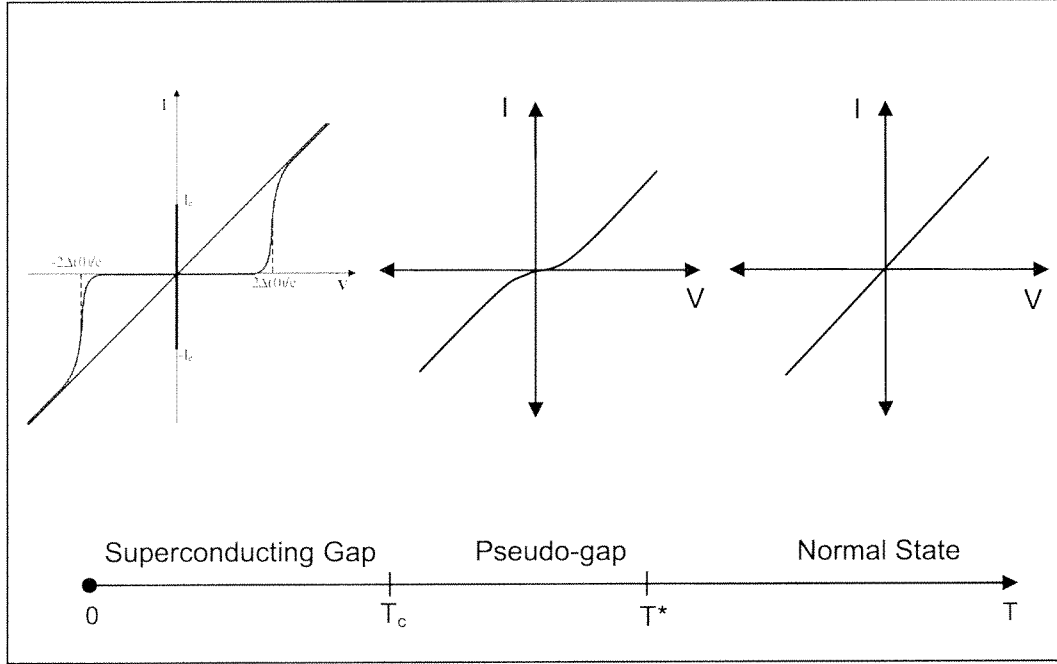


Şekil 1.8. Bi2212 yapısında HgBr₂ interkalasyon gösterimi

1.3 YSS lerinde Pseudo aralık özelliği

Süperiletken maddeler T_c değerinin üstünde normal fazda olduklarından dolayı, c-eksenindeki tünelleme ölçümlerinin lineer bağımlılıkla normal durum özelliği göstermesi beklenir. Fakat son zamanlarda, bu ölçümlerde, T_c üzerinde gözlemlenen lineer olmayan I-V ölçümlerinde lineer olmayan davranışların elde edimi bütün dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu etki, pseudo-bandı denilen kısmi bir enerji bandının varlığından sonuçlanır ve YSS'lerde T_c üzerinde alışılmadık bir çiftlenme mekanizmasının sonucudur. Süperiletkenliğin başlangıcı olarak bilinen Pseudo-bandı, aynı düzlemdeki öz direnç, açı çözünürlüklü fotoemiyon spektroskopisi (ARPES), NMR, öz ısı ve optik ölçümler gibi çeşitli deneylerde karakterize edilmiştir (Yurgens 2000). Bazı çalışmalarda, malzemelerdeki yerel katkılama seviyelerinde hatalı belirlemelerden dolayı pseudo-bandının tüm doping konsantrasyonlarında gözlemlenmesine rağmen, under doped faz özelliği olarak ta bilinir ve pseudo-bandının büyüklüğü doping seviyesiyle ters orantılıdır. Çelişkili gözlemlerin olmaması için doping konsantrasyonu ve enerji bandı arasında açık bir bağlantıya ihtiyaç vardır (Miyakava ve diğer., 1999). Bu nedenle, doping seviyesi enerji bandı değeriyle belirlenen, aşırı overdoped Bi2212 nin içindeki pseudo bandı yokluğu kırık eklem tünelleme spektroskopisinden doğrulanmıştır (Ozyuzer ve diğer., 2002).

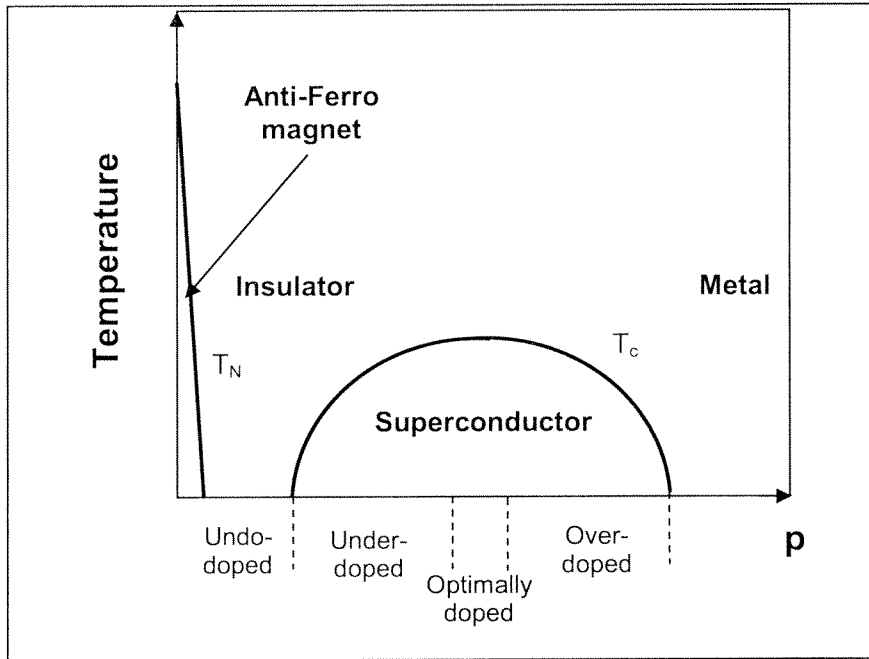
Pseudo-aralığı varlığının gözlemlerinde underdoped YSS'lerde karakteristik sıcaklıkları T_c ve T^{*} dır. (Şekil 1.9) da sıcaklık sıkalasında gösterilmişlerdir. T^{*} sıcaklığında sıcaklık azalırken, pseudo aralığı gözükmeye başladıktan sonra, cooper çiftleri oluşmaya baslar. T_c sıcaklığının altında süperiletkenlik bandı baskın çıkar. Karakteristik sıcaklık bazı deneysel tekniklerle belirlenebilir. Örneğin c eksenini boyunca öz direnç ölçümlerinde doğrusal olmayan davranışın başlangıç noktası pseudo bant sıcaklığı, T^{*}, olarak bilinir (Yurgens, 2002).



Şekil 1.9. Under-doped bölgesinde Bi2212 nin c-ekseni I-V karakteristiklerinin sıcaklık değişimi

1.4 Yük Dopingi

Genellikle, malzemelerin fermi seviyesindeki, doping ile artırılan elektronların ve boşlukların sayısı süperiletkenlikte büyük bir etkiye sahiptir. Süperiletkenlerde sadece faz geçişlerini sağlamaz ayrıca süperiletkenlerin kritik sıcaklık ve enerji aralık değerini değiştirir. Süperiletkende yük taşıyıcılarını değiştirmek için daha yüksek valans atomları tarafından yük haznesindeki metalik atomların yer değiştirmesi ve oksijen atomlarının sayısını değiştirme olmak üzere iki metodu vardır. Şekil 1.10 da doping seviyesine göre, T_c 'deki değişimler ve faz geçişleri gösterilmiştir.



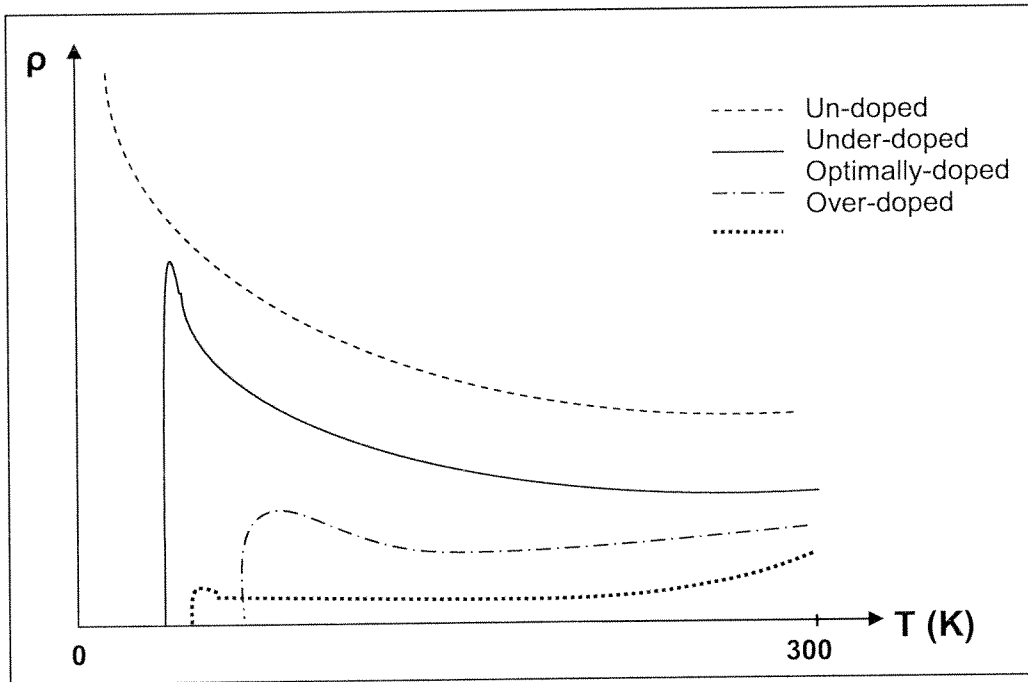
Şekil 1.10. Artan boşluk konsantrasyonu ile cuprate süperiletkenlik özelliklerinin değişimi

Geleneksel süperiletkenlerden farklı olarak, YSS kuprate lerin monoton olmayan doping bağıllığını gösterir, bu

$$\frac{T_c(p)}{T_c(\max)} \cong 1 - 82.6(p - 0.16)^2 \quad (1.8)$$

Şeklinde gösterilir. T_c (maksimum) verilen süperiletken için maksimum kritik sıcaklığı ve p doping seviyesini ifade eder. Bu yüzden undoped tan overdoped a kritik sıcaklıklarına (T_c) ve enerji aralığına (Δ) yükselen doping seviyeleri aynı monoton olmayan değişimlere sahiptir. Örneğin, umulanların aksine overdoped bölgesindeki süperiletken küçük T_c ve Δ değerlerine sahiptir (Miyakawa ve diğ., 1998).

Bi2212 süperiletkeninin öz direncinin sıcaklık bağıllığı Cu-O düzlemlerindeki doping seviyesine bağlıdır. Şekil 1.11 de, Bi2212 nin c eksenı boyunca doping seviyelerine bağılı öz dirence karşı sıcaklık değişimleri kabaca gösterilmiştir. Şekil 1.11 de görüldüğü gibi, undoped bölgesindeki maddenin R-T davranışı yarıiletkeninkiyle aynı iken underdoped süperiletkenin faz geçişi direnç değişimleriyle görülür, ilk önce minimum değerlere doğru düşer sonra kritik sıcaklık değerine kadar maksimum değerlere yükselir. Optimallydoped lardan overdoped lara oksijen seviyelerinin değişiminde, süperiletkenlerin düzlem dışı öz dirençleri yavaşça metalik özellik göstermeye başlar.



Şekil 1.11. Farklı doping seviyelerinde c-ekseni öz direncine karşı sıcaklık değişim gösterimi

1.5 Bi2212 ' den Terahertz Emisyonu

Son zamanlarda bilim ve teknolojiadaki birçok insan, fizik, biyoloji, kimya, astronomi ve tıbbi kapsayan önemli uygulama alanlarından dolayı terahertz ($\text{THz} = 10^{12} \text{ Hz}$) frekans aralığındaki ($0.3\text{-}30 \text{ THz}$) elektromanyetik dalgalarla ilgileniyorlar. Elektromanyetik spektrumdaki THz emisyonunun frekans aralığı mikrodalgalar ve uzak kızıl ötesi radyasyonunun arasındadır ve bu bölge moleküler spektroskopisi için zengin bir alandır çünkü birçok molekül THz frekans aralığında dönme ve titreşim absorpsiyon modlarına sahiptir. Örneğin, DNA moleküllerinin ve birçok proteinin toplu titreşimli modlarını THz aralığında olduğu tahmin ediliyor ve bu THz'i kanser teşhisinden genetik analizlere kadar tıbbi uygulamalarda önemli yapıyor. X-ışınları gibi madde teşhislerinde kullanılmaları için

düşünmelerinin ötesinde, biyoloji ve tıp uygulama alanlarında iyonlaşmama özelliklerinin karakterizasyonları X-ışınlarından daha güvenilir yapmasından kaynaklanan önemli bir avantaja sahiptirler. Ayrıca kıyafet, kağıt, odun, karton, plastik ve seramiklerden kolayca geçebilmeleri güvenliğe önemli hale gelmelerini sağlar çünkü bu maddeler THz frekans aralığında nispeten soğurgan değildirler (Ferguson ve Zhang 2002).

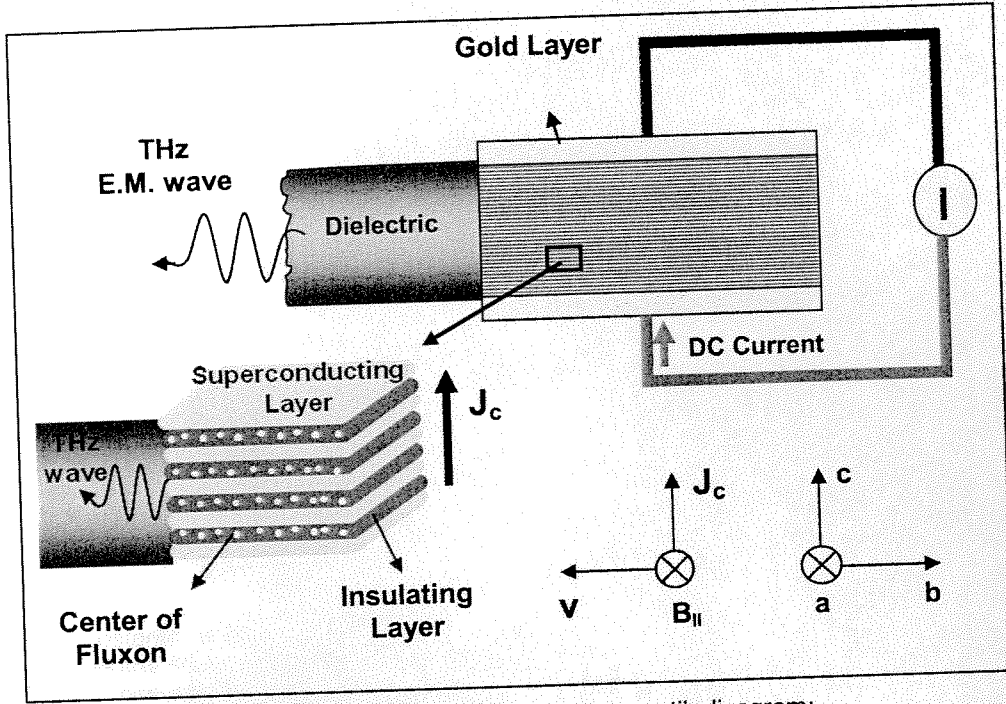
THz frekans aralığının (0.3-30 THz) altındaki ve üstündeki elektromanyetik dalgalar genellikle yüksek hızlı transistörlere dayanan yarıiletken elektroniğiyle ve yarıiletken lazerlerine dayanan fotoniklerle üretilir. Ancak, bu frekans aralığında hala THz kaynaklarının eksikliği vardır ve üretimdeki zorluklara rağmen birçok uygulama alanındaki fonksiyonel avantajları bilimde THz kaynaklarının gelişmesini gerektirir (Bae ve Lee 2006). Yüksek güçlü, düşük maliyetli ve portatif THz ışınması kaynakları artıyor. THz kaynak araştırmalarının bir bölümü THz quantum-kademe tekniği gibi yarıiletken teknolojisini kapsar (Köhler ve diğ., 2002). Yarıiletken kullanımı ile THz üretimi sinüzoidal akım titreşimine (elektronik) ve quantum seviyeleri (fotonik) arasındaki durum geçişlerine dayanır ancak ikisinde de onları teknolojiye gelişmemiş yapan bazı dezavantajlar vardır. Elektronikte yük taşıyıcılarının geçişiyle THz üretiminin uzun sürmesi bunlardan birisidir, diğer dezavantajı ise THz frekans aralığındaki foton enerjisinin oda sıcaklığındaki termal enerjiden çok daha düşük olmasıdır (Bae ve diğ., 2007). Teknolojik alanlarda kullanılmaları planlandığından dolayı, sürekli, koherent ve ayarlanabilir frekanslı olmalıdırlar.

Bu sebeple, YSS katmanlı yapı teknolojisini kapsayan yeni THz kaynaklarında araştırmalar yapılıyor. THz ışınması üretimi için YSS'leri uygun kılan birçok sebepten biri, Josephson plazma titreşimleri olarak adlandırılan eşsiz uyarıyla elektromanyetik dalganın yayılımını sağlayan katmanlı yapılarıdır ve Josephson plazmanın frekansı THz aralığındadır (Tachiki ve diğ., 1994).

Sonuçlanan çalışmalardan sonra süperiletkenlerden yayılan radyasyonun iyi performansını kanıtlamadaki bazı problemlere rağmen, süperiletken teknolojisindeki THz emisyonu araştırmaları epeyce artıyor. Bu sebeple, geleneksel süperiletkenler ve YSS'ler kullanıldı ancak son zamanlarda emisyon gücündeki ve frekanstaki sınırlama problemini çözmek için katmanlı YSS'lerindeki ÖJE'ler tercih ediliyor. ÖJE'lerdeki bu tarz çok yönlü çalışmalar da, katmanlı süperiletkenlerden THz emisyonunun üretimindeki deneysel konfigürasyonlarla teorik modelleri birçok kategoriye ayırabiliriz. Tüm modellerde, THz teknolojisindeki çok yönlü ÖJE'lerin tünelleme davranışının önemi incelenmiştir ve THz ışınmanın emisyonunu sağladığı kanıtlanmıştır. Ayrıca katmanlı süperiletkenlerden emisyon prensiplerinin ortak noktası lazer teknolojisinde ve Josephson etkisinde olduğu gibi ÖJE'lerdeki kavite modlarının uyarılmasına dayanır. Kavite modlarının uyarılması için son yüzyılda iki fikir dikkate alındı. Bunlardan biri Bi2212 yığınlarının ÖJE'de fluxon dinamiği içerir ve bu model (Tachiki ve diğ., 1994) tarafından sunulmuştur ve manyetik alan uygulamalı bazı deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Diğer çalışma dış manyetik alan uygulamalı ÖJE'lerin yığınlarında kavite mod uyarılmasını kapsar. Bu deneysel çalışmalarda ÖJE'lerde THz emisyonu üretmek için araştırmacılar katmanlı YSS üzerinde farklı yükseklikli ve farklı boyutlu mesalar kullandılar (Kleiner 2007). (Özyüzer ve diğ., 2007) tarafından yapılan THz araştırmasındaki son gelişme yaklaşık olarak 1µm yüksekliğinde büyük mesaların uzun kenarlarından yayılan koherent sürekli THz elektromanyetik dalga üretimini kanıtladı. Onların mesa boyutları ışınma etkisinden dolayı son zamanlarda kullanılmamasına rağmen, lazer teknolojisine benzer çoklu eklem yığınlarında kavite uyarımını başardılar. Hem süperiletken hem de yarıiletken teknolojisinde sürekli ve koherent THz ışınma yapan kompakt katıhal kaynakları üretmek gereklidir. Koherent ışınmanın anlamı tüm ÖJE'lerin aynı fazda titreşmesidir. Bu THz kaynaklarının ötesinde, ÖJE'lerde aynı ac Josephon etkisini kullanarak THz emisyonunun algılanması üzerine bazı çalışmalar var (Batov ve diğ., 2006).

Tachiki ve diğ. bir model çalışıyor ve 1994'ten beri katmanlı YSS'lerle THz emisyonu için deneysel kurulumu tanımlıyor. (Şekil 1.12) de görülen, şimdiki simülasyonları Bi2212'nin ÖJE'lerdeki THz ışınması için fluxon dinamiğine dayanır. Simülasyonda, Josephon plazması olarak adlandırılan bir uyarı yolu tanımlanmıştır ve bozulan uyarılmış plazmanın THz frekans aralığında elektromanyetik dalgalar yarattığı açıklanmıştır. Dış DC akımı katmanlara dik c-ekseni boyunca uygulanırken, bu deneysel kurulum Bi2212 süperiletkeninin katmanlı yapısına paralel bir eksen boyunca manyetik alan uygulaması içerir. Katmanlara paralel bu dış manyetik alan (~1T) merkezleri yalıtık katmanlarda olan fluxonlar meydana getirir. Katmanlarda periyodik olamayan konfigürasyona sahip olan fluxonlar, (Şekil 1.12) de görüldüğü gibi, v hızıyla b'nin negatif yönünde akarlar ve bu yoğun fluxon akışı süperiletkenin her ÖJE katmanında bir voltaj farkı meydana getirir. Bu voltaj farkı Bi2212'nin c-ekseni yönünde titreşen Josephon akımı meydana getirir. b'nin negatif yönü boyunca şiddetli ve koherent THz

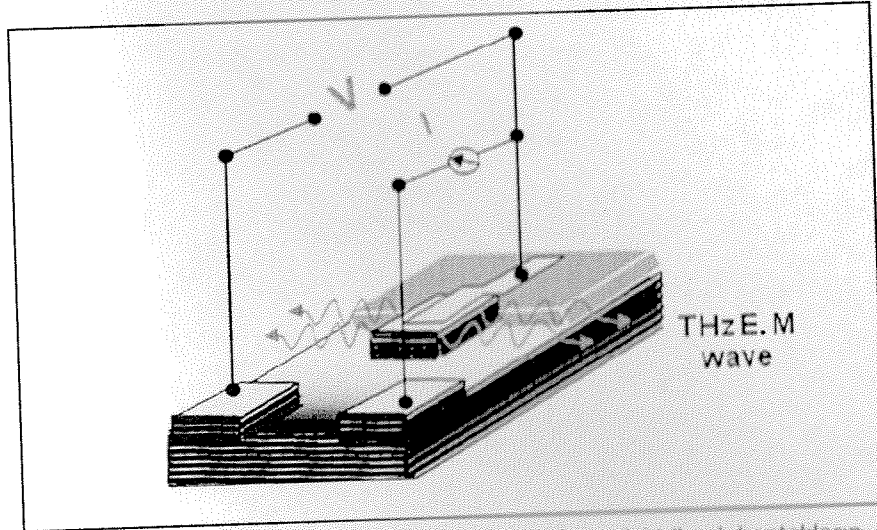
emisyonu titreşen akımla ve Josephon plazması arasındaki etkileşmeye dayanır. Bu yüzden ara yüzey boyunca ÖJE'den dielektriğe yayılırlar.



Şekil 1.12. THz emisyonunun şematik diyagramı

Plazma dalgaları sırasıyla c eksenini ve a eksenini olmak üzere enine ve boyuna dalgalardır, sadece enine bileşenleri ÖJE ve dielektrik arasındaki ara yüzde elektromanyetik dalgaya dönüşür. Katmanlı yapılarıdaki THz emisyonunun frekans ayarlanabilirliği değişen uygulanan akım olarak tanımlanır, bu yüzden ayarlanabilir frekans aralığı süperiletkenin kritik akımıyla sınırlanır. Çünkü dış akım kritik akım değerinden fazla olduğu zaman THz emisyonu yoktur (Tachiki ve diğ., 2005).

Bu çalışmada Bi2212 süperiletkeni içindeki ÖJE'nin asıl bir özelliği olan THz emisyonunun üretimini çalışıldı. Çalışmada birçok ÖJE ler içeren büyük mesalar ($100 \times 300 \mu\text{m}^2$) üretildi. Üretilen mesaların yan ve düzlemsel boyutları (Ozyuzer ve diğ., 2007) tarafından yapılan çalışmaya göre seçildi. Onlar yüksekliği yaklaşık olarak $1 \mu\text{m}$ olan büyük mesaların uzun kenarlarından koherent THz emisyonu üretebilmişlerdi.



Şekil 1.13. THz ışınımı emisyonu için Bi2212 üzerindeki elektriksel kontakların ve mesanın şematigi

Bi2212 tek kristali üzerindeki mesa yaklaşık 670 ÖJE içerir. Lazerlerin çalıştığı gibi, kavite moduyla mesanın uzun kenarlarındaki ışınım emisyonu I-V karakteristik ölçümleri sırasında elde edildi. Bi2212

süperiletken tek kristalinin c eksenini boyunca DC voltajı uyguladığı zaman, akım duran elektromanyetik dalgayla senkronize olmuş tüm ÖJE lerde titreştirilir. Elektromanyetik dalga Bi2212 tek kristali içinde Josephson plazması gibi yayılıyorken, mesanın uzun köşelerinden dikkate değer bir emisyonu kaviteye dönüştürüyor. Bu (Şekil 1.13)te görülebilir.

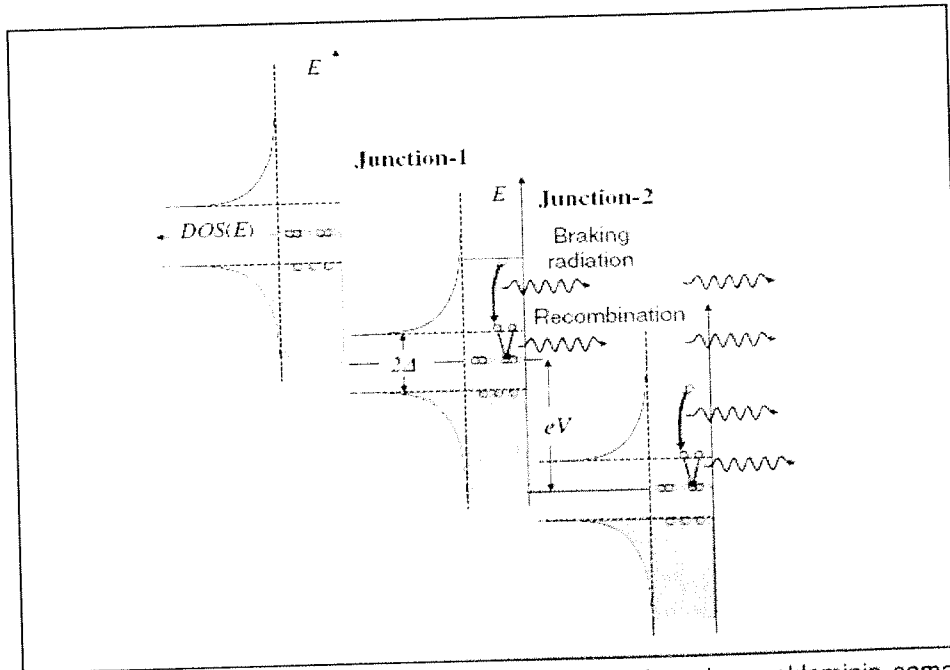
Bolometrik ölçümler Bi2212 nin c eksenini boyunca I-V ölçümlerini kaydederken elde edildi. Ön gerilim azaldığı zaman ışınma gücü bolometreye algılanabilir Elektromanyetik dalgayı termal ısınmadan ayırt etmek için THz emisyonunun polarize özelliğini kullandılar. Diğer taraftan termal ışınma pikleri yüksek akımlarda mesanın ısınmasından dolayı bolometreye algılanabilir. Ayrıca, eğer Bi2212 tek kristali yüksek kritik akım değerine sahipse, emisyonu engeller. Ayrıca kullandıkları büyük mesa alanı süperiletken mesayı ısıtmak için farklı bir nedendir. Bu sorunu çözmek için düşük kritik akımlı Bi2212 kullandılar.

Çalışmada emisyon frekansının mesa boyutlarına bağıllığı kanıtlandı ve elde edilen sonuçlar temel kavite rezonansı ile uyuyor. Bu frekans

$$f = \frac{c_0}{2nw} \quad (1.9)$$

Şeklinde gösterilir. w mesanın genişliğini ve n Bi2212 nin kırılma indisini ifade eder. 0,85 THz lik maksimum frekans 40µm genişliğe sahip mesadan elde edildi. ÖJE sayısı ışınmanın emisyon gücüyle ilgilidir. Çünkü bireysel ÖJE den emisyon gücü çok düşüktür. Güç ÖJE in koherent titreşimlerinin sayısının karesiyle doğru orantılıdır. Bu sebeple yüksek kalınlıklı mesalar üretildi (Ozyuzer ve diğ., 2007).

Mesanın c ekseninde ön gerilim azalırken ve tüm ÖJE de normal durumdan süperiletkenlik durumuna faz geçişi olurken, THz emisyon pikleri farklı DC voltajı değerlerinde saptanır.



Şekil 1.14. Dengesiz sanki-parçacık popülasyonlarını gösteren Josephson eklemine şematik enerji diyagramı

BÖLÜM 2

DENEY

2.1 Amaç

Çalışmanın ana amacı terahertz ışınması elde etmek için Bi2212 tek kristallerin üzerinde geniş mesalar üretmektir. Bu amaçla, THz ışınlarının yayılma kapasitesi ile ilgili olan büyük alanlı ve yüksek kalınlıklı düzgün dikdörtgen prizma biçiminde mesalar elde etmek için birçok deneysel yöntem kullanılıyor. Ek olarak, mesaların yüzeysel ve elektriksel karakterizasyonları çalışmamız için önemlidir. Mesa yüksekliği, mesanın yanal alanı ve altın katmanının yüksekliği AFM kullanılarak analiz edilir. Bi2212 nin c eksenini boyunca R-T ve I-V ölçümlerini kapsayan elektriksel karakterizasyonlarında, YSS lerin katmanlı yapısına uyan elektriksel davranışları incelenmiştir. Bu bölümde mesa üretiminden elektriksel ölçümlere tüm deneysel işlemler adım adım tanıtılacaktır.

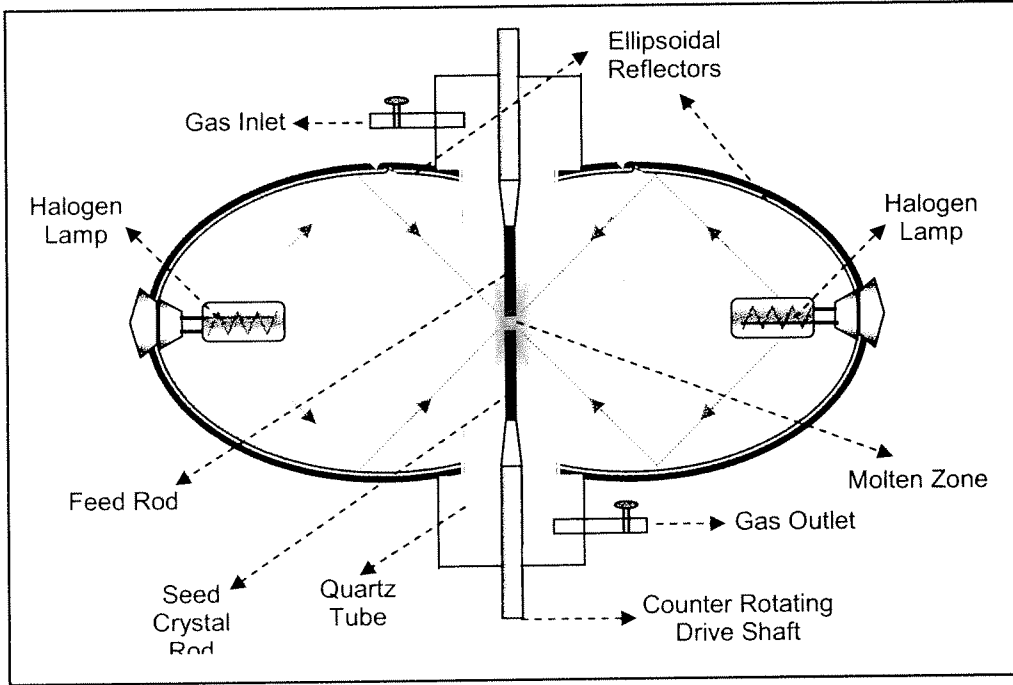
2.2 Bi2212 tek kristallerin üretimi

Çalışmamızda kullandığımız yüksek kaliteli Ca katkılı Bi2212 tek kristalleri Argon Ulusal Laboratuvarlarında D.G. Hinks tarafından üretilmiştir. Tek kristaller floating zone metodu ile üretilmiştir ve underdoped Bi2212 süperiletken üretmek için, tek kristaller Ar gaz ortamında tavlantı yapılmıştır (Ozyuzer ve diğ., 2003).

Bi2212 süperiletkeninin üretiminde, süperiletken bileşenlerinin katılaştırılması ve eritilmesi gibi birçok uygulama vardır. Karıştırma yöntemiyle YSS'lerin üretimi kolay olmasına rağmen, bu metot sadece hacimli YSS'ler için tercih edilmektedir ve bu süperiletken malzemeler gözenekli yapıya ve süperiletken grainlerin rastgele dizilimine sahiptir. Bu yüzden, hacimli süperiletkenlerde, süperiletken kristalin düzgün dağılımlı olmasını kapsayan düzgün yapıyı elde edilmesi zordur (Michishita ve diğ., 1996).

Yüksek kaliteli ve c eksenini dizilimli yapıda katmanlı YSS leri üretmek için araştırmacılar erime yapıları (melt-textured) büyütme metodunu (Jin ve diğ., 1988) ve lazer ısınma temelli büyütme metodunun (Feigelson ve diğ., 1988) kapsayan erime metodlarını kullanırlar.

Yüksek kaliteli düzgün dağılımlı tek kristaller elde etmek için kullanılan eritme işlemlerinden biri floating zone metodudur (FZM). Potasız bir teknik olduğundan ve bileşenler optik sistemlerde IR ısımasıyla ısıtıldığından dolayı, işlem sırasında kirlilik olmaksızın yüksek saflıklı süperiletken yapılar üretilebilir. IR ışınma gücüyle ayarlanan geniş sıcaklık aralığı FZM ile birçok süperiletken malzeme üretimini sağlar. FZM ile üretilen malzemenin en önemli özelliği büyük boyutlu ve düzgün yapıları kristal olmasıdır. Anizotropik elektriksel ölçümler için büyütülen malzeme üzerinde gerekli boyutlarda düzgün dağılımlı yapılar üretmek çok önemlidir. Bu yüzden iyi kristaller tercih edilir. Bu FZM yi süperiletken aygıtlarda önemli kılar (Michishita, ve diğ., 1996).



Şekil 2.1. Floating zone metodu ile kristal büyütmek için çift elipsoit görüntü fırınları

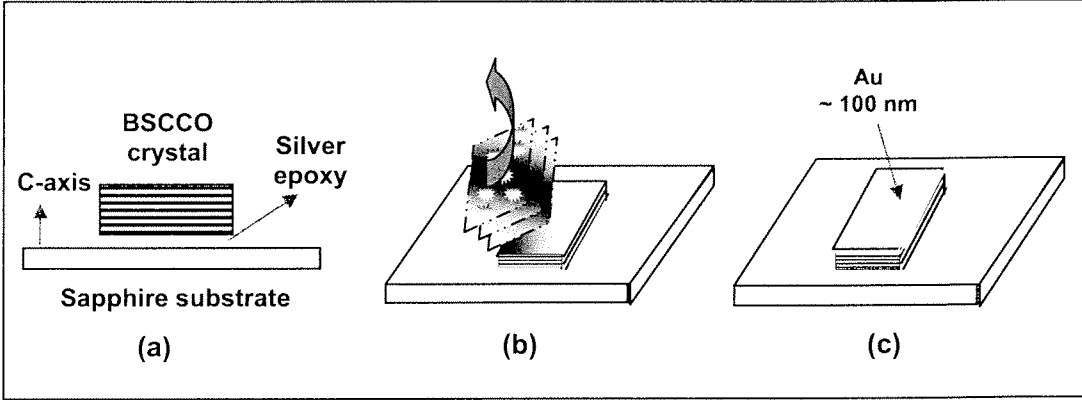
Bu teknik genelde halojen lambasından yayılan ışığı image fırınındaki erime noktasına odaklayan optik sistem içerir. Süperiletken bileşikleri sadece ışığın odaklanmasıyla ısıtıldığından dolayı ısıyı bileşiklere iletmek için erime noktasının yakınında başka bir madde kullanılmaz. Bu yüzden üretim işlem sırasında kirlilik içemez. FZM için birçok deneysel kurulum vardır. Enerji çıkışı açısından, konfigürasyonlar tercih edilir. Şekil 2.1. de görülen kurulum (Revcolevschi ve Jogoude 1997) tarafından yayınlanan eleştiride görülebilir. Her elipsoid chamber in iki odaklanma noktasından birine yerleştirilen iki halojen lamba ışımaya yarar bunlar erime noktasında her bir elipsoidin ortak odaklanma noktalarına elipsoid yansıtıcılarla odaklanır. Chamber in içini örten elipsoid yansıtıcının geometrik şekli, elipsoid bilardo masasındaki topun hareketi gibi, odak noktasından diğer bir odak noktasına ışımının odaklanmasını sağlar. Floating zone işleminden önce, çubuk gibi şekil verilmiş süperiletken hacim maddesi kalsine etme ve sinterleme işlemleri kullanılarak hazırlanır. Süperiletken çubuk elipsoit fırında feed ve seed kristal çubukları olarak kullanılan iki parçaya bölünür. Sonra bunlar ortak eksenli olarak quarkz tüpün içine yerleştirilir ve eklemleri her bir elipsoidin ortak odak noktasının merkezindedirler. Refractory oksit tek kristalleri elde ederek, çubuk sabit bir hızla aşağı doğru çekilir. Bu yüzden süperiletken kristalleri tek yönlü büyütmeyle katılaştırılır. Büyütme esnasında feed çubuğu ve seed kristal çubuğu homojen kristal yapısı elde etmek için döndürülürler. Büyütme yönelimi [110] a-b düzlemine paralel büyütme yönelimli Bi2212 fazı ile süperiletken katmanlı tek kristal çubuğu FZM nun sonunda elde edilir. Kristaller ayrıca ekseni bağlantısına da sahiptirler. Kristaller sadece büyütme yönü boyunca a-b dizilimli katmanlı yapıya değil ayrıca enine bölümde c ekseni dizilimine sahiptirler. Kuartz tüpteki kristal büyütülmesi kristale O₂ sağlamak için O₂ gazı yolanmasıyla gerçekleştirilmektedir. O₂ nin basıncı büyütme parametrelerinden birisi olarak kullanılır çünkü büyütme sıcaklığını ve erime bölgesinin stabilizasyonunu etkiler. BSCCO nun birçok fazının olmasına rağmen saf faz olarak kolay sentezinden dolayı Bi2212 tercih edilir (Revcolevschi ve Jogoudez 1997).

Çalışmalarımızda üretildiği gibi kullanılan Ca katkılı Bi2212 tek kristallerinin kritik sıcaklıkları keskin faz geçişi ile yaklaşık olarak 72-74 K dir (Ozyuzer ve diğ., 2003). Bi2212 nin birim hücrelerinde tek kristal yapısı içerisinde Ca içeriğinin etkileri ve O₂ doping ine göre kritik sıcaklık bazı çalışmalarda araştırıldı. Ca katkılı Bi2212 nin zayıf O₂ içeriğine sahip olduğu gösterildi. Ayrıca, diğer bir deyişle Sr-O daki düzensizlikten dolayı Cu-O düzlemlerindeki geliş güzel potansiyele sebep olunur. Bu potansiyel çift kırınımına sebep olduğundan dolayı süperiletkenin kritik sıcaklığı bastırılır. Diğer bir deyişle Tc Bi2212 deki Ca içeriği arttıkça azalır (Tokita ve diğ., 2001).

2.3 Mesa üretimi

C eksenini boyunca doğal özgün Josephson eklemeleri (ÖJE) yığınları içeren Ca katkılı Bi2212 tek kristallerinin pürüzsüz yüzeyinde mesa yapısı oluşturmak için birçok deneysel yöntem vardır. $100 \times 300 \mu\text{m}^2$ boyutundaki süperiletken Bi2212 tek kristali üzerindeki mesa, fotolitografi ve argon iyon demeti aşındırması yöntemleriyle elde edilmektedir. İlk olarak, pürüzsüz a-b yüzeyinden tek kristal Figür 2.2 de görüldüğü gibi gümüş epoksiyle safir altlığın üzerine yapıştırılır. Altlığın normal vektörünün yönü Bi2212 kristalinin c eksenine aynı yönde olduğundan dolayı, Bi2212 yüzeyinde üretilen mesanın yüksekliği kristalin c eksenini boyunca uzanır ve ÖJE ile Bi2212 nin c eksenini açıklar. Gümüş epoksi ve safir altlık kullanmanın sebebi çok iyi termal iletken olmalarıdır. Çünkü soğuk baş üzerindeki kristal sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık arasındaki fark mesadaki elektriksel sonuçları etkiler. Ayrıca elektriksel ölçümler sırasında kristali soğutmak gerektiğinden dolayı kristal ile soğutma başı arasındaki maddelerin, kristal sıcaklığını doğru olarak ölçmek ve kristaldeki yerel ısınmayı azaltmak amacıyla, çok iyi iletken olması gerekir. Ayrıca, iyi termal iletkenli maddeler seçilmezse soğutma sistemindeki kristal sıcaklığını kontrol etmekte zorluklar yaşarız.

Bi2212 üzerinde pürüzsüz bir yüzey elde etmek için kristal mekanik olarak yapışkan bantla cleave edildi (Şekil 2.2.b). Yapışkan bant kristalin üzerine tam olarak yayıldı ve sonra Bi2212 üzerinde pürüzsüz bir yüzey elde edene kadar çekildi. Cleaving işleminden sonra, zamanla düzgün yüzeyi kaybetmemek için 100nm kalınlığında altın katmanı termal buharlaştırma yöntemi ile düzgün yüzeye kaplanır. (Şekil 2.2.c)

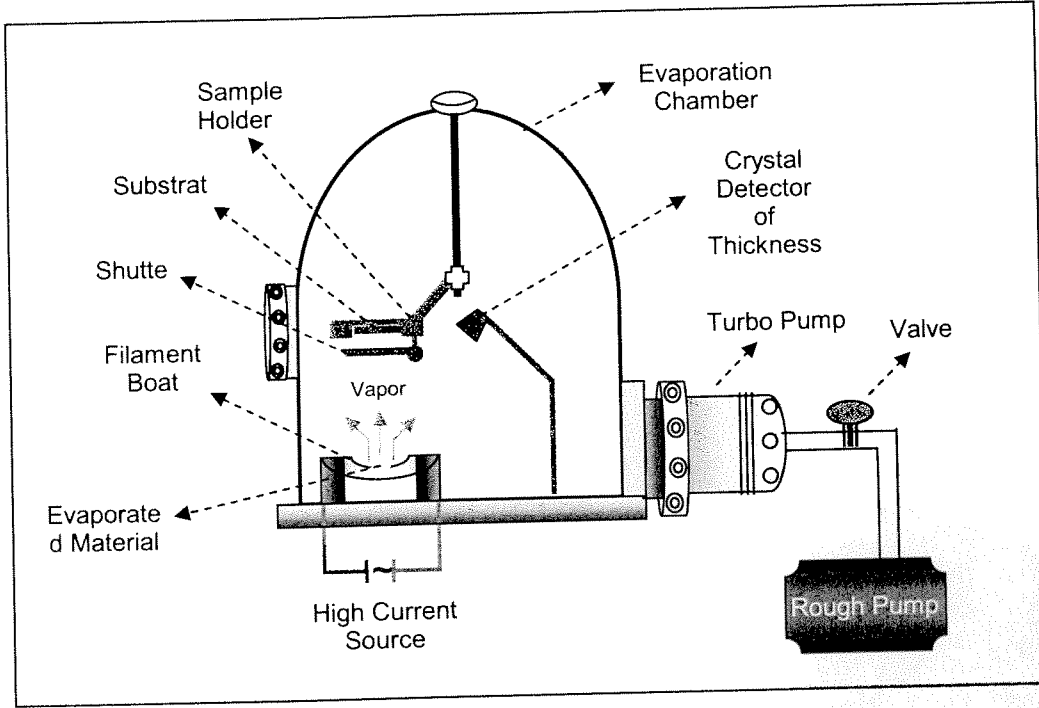


Şekil 2.2. Mesa üretimi için başlangıç basamakları

Altın sadece iyi bir iletken değildir ayrıca fotolitografi işlemi sırasında kristal yüzeyini sudan ve kimyasallardan korur. Ayrıca reaktif bir madde olmadığından dolayı altın katman yüzeyi oksitlenmeden korur. Atomik kuvvet mikroskopuyla (AFM) altın kalınlığını ölçmek için, buharlaştırıcıda kristalin yakınına temiz bir cam yerleştirilir çünkü kristal ve cam üzerine kaplanmış altın aynı yüksekliktedir.

Şekil 2.3 te görülen vakumda ısı buharlaştırma tekniği BSCCO yüzeyine zarar vermeden altın tabakayı elde etmemizi sağlar. Bu teknik yüksek akım kaynağıyla ısıtılan filament boat içinde maddenin buharlaşmasını ve buhar halindeki maddenin daha soğuk altlık üzerinde tekrar yoğunlaşmasını içerir. Genelde maddeyi buharlaştırmak için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyar ve bizim sistemimizde filament boat tan yüksek akım geçirilerek yüksek sıcaklık sağlanır. Buharlaştırma sıcaklığı için gerekli akım değeri filament boat un direncine bağlı olarak değişir. Bizim filament boatumuz için 200 ve 210 A arasındadır. Altlık üzerindeki filmin kaplaması ve kalınlığı örtücüyle kontrol edilir ve o ayrıca buharlaştırmaya başlama anında boat taki diğer maddelerden gelen kirliliğe sahip olmayan iyi kaliteli ince filimler elde etmemizi sağlar.

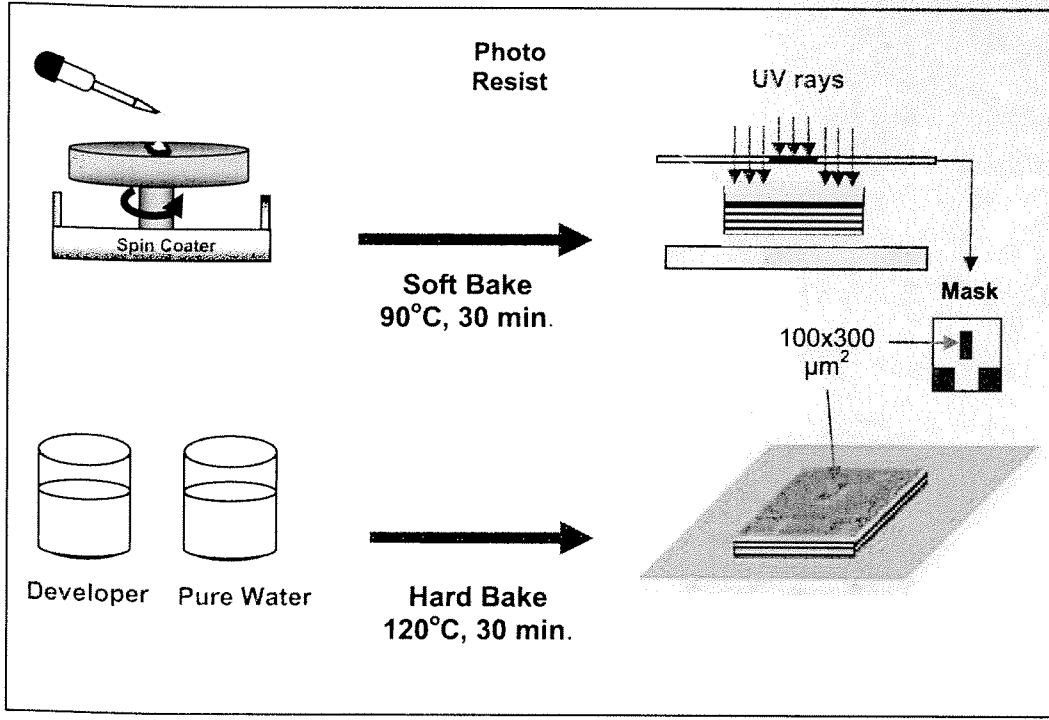
Ayrıca iyi kaliteli filimler için buharlaştırma 10^{-6} civarında ki vakumda yapılmalıdır. Bu sadece buharla atmosfer arasındaki reaksiyondan kaçınmak için değil ayrıca buhar atomlarının ortalama serbest yollunu arttırmak için gereklidir. Bu yüzden buharlaştırma odası içindeki gaz molekülleri ile çarpışmazlar. Sistemimizde yüksek vakuma ulaşmak için arka pompalamayla turbo moleküler pompası kullanıldı. Kaplamanın kalınlığını ölçmek için kalınlık monitörü kullanıldı ve gerekli kalınlığa ulaşıncaya örtücü kapandı.



Şekil 2.3. Vakumda ısı buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

Mesa üretimi işleminin ikinci basamağı kristalin altın katmanı üzerindeki foto-rezist (P-R) katmanını şekillendirmek için mikro üretimde kullanılan fotolitografi işlemi içerir. Bu yüzden P-R mesa alanlarını aşındırmadan korurken P-R katmanı tarafından korunmayan seçilmiş bölgeler iyon demetiyle aşındırılır. Fotolitografi sırasıyla birçok basamak içerir. (Şekil 2.4 te görülür)

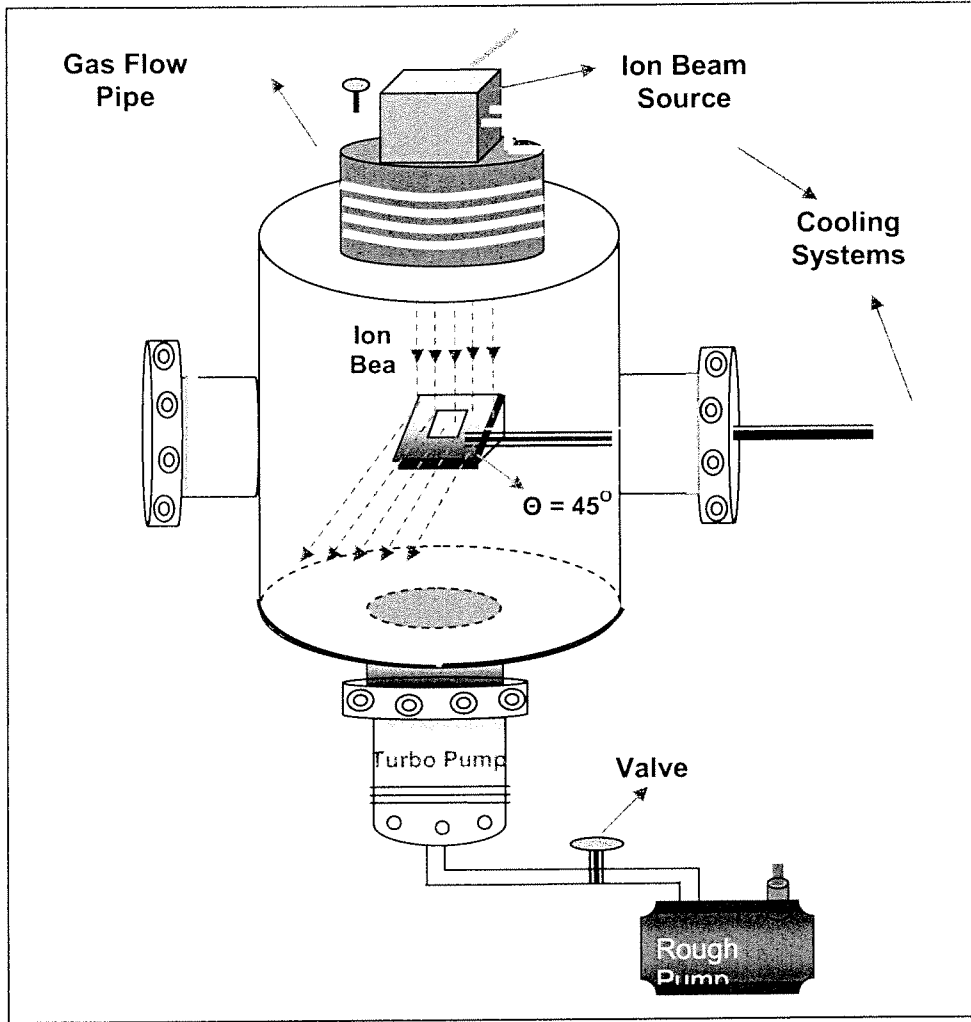
PR ışığı duyarlı olduğundan dolayı, bu işlemler karanlık bir odada yapılır. İlk basamak kristal yüzeyinin spin kaplayıcı kullanarak PR ile örtülmesidir. (Şekil 2.4) Bu düzgün pürüzsüz PR katmanının elde edilmesini sağlar ve ayrıca spin kaplayıcının hızını ve kaplama süresini değiştirerek kalınlığın ayarlanmasını sağlar. (Şekil 3.4) PR deki çözücü fazlalığını gidermek için, 30 dakika 90° C sıcaklığında hafif fırınlama yapılır. Hafif fırınlamadan sonra, Bi2212 nin altın katmanı üzerinde yapışkan PR katmanı elde edilir. Biz pozitif PR kullandık bunun anlamı maske altında UV ışığının geçtiği ışığa maruz kalmış alanlar $0.2\mu\text{m}$ lık konsantrasyonlu sodyum hidroksit (NaOH) aşındırıcı çözeltisiyle kaldırılır (Şekil 2.4). Genelde $100 \times 300\text{mm}$ mesa boyutlarında maskeler kullandık ve desensiz bölgeler tam olarak UV ışığına maskelerin duyarlıyken, maskelerin desenleri ışık geçirmez olmalı. Son işlem olan fırınlama iyon demeti aşındırması için dayanıklı yapılar elde etmemiz için kalan PR i katılaştırırız.



Şekil 2.4. Fotolitografi işlemlerimizin şematik gösterimi

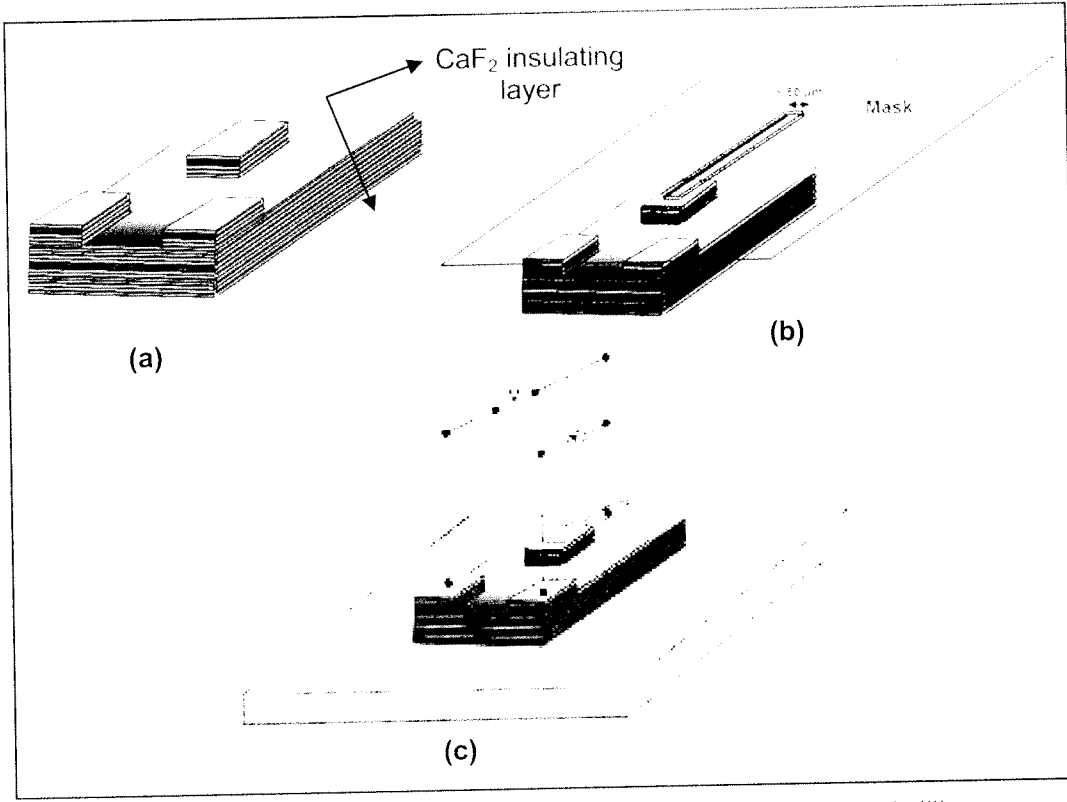
Bi2212 üzerinde PR deseni hazırlandıktan sonra örnek kristal üzerindeki PR katmanıyla korunmayan bazı bölgeleri aşındırmak için yüzeye doğru ivmelenen iyon demetleri üreten iyon demeti sisteminin içine yerleştirilir. PR katmanıyla korunan bölgeler aşındırıldığından olayı, aşındırmadan sonra Bi2212 tek kristali üzerinde gerekli boyutlarda mesa yapısı elde edilir.

Şekil 2.5 de iyon demeti kaynağı gaz akış denetleyicisiyle ayarlanan Argon soy gazını iyonlaştırır ve onları örnek tutucuya doğru ivmelendirir. Yüksek vakum iyon demetlerinin ortalama serbest yolunu arttırmak için gereklidir ve chamber daki diğer atomlarla ve birbirleriyle çarpışırken enerjilerini kaybetmeksizin kristalin üzerini aşındırmalarının olasılığı artırır. Bu sebeple arka pompalı turbo moleküler pompası yüksek vakuma ulaşmak için kullanılır. Bu bizim sistemimiz için 10^{-6} torr dur. Gelen iyon demeti ve örnek tutucu arasındaki açı 45° ye ayarlanır ve kristal örnek tutucuya yerleştirilir. Uzun aşındırmadan dolayı örnek üzerinde meydana gelen ısınma Bi2212 tek kristalinin süperiletken özelliklerini etkileyebileceğinden dolayı, aşındırma sırasında örnek tutucu soğutulmalıdır. Bu yüzden sistemimizde kristal chamber ın dışından örnek tutucuya bir boru boyunca dolaşan sürekli akan suyla soğutulmaktadır. Ayrıca aşındırma esnasında süperiletken kristalin sıcaklığını ölçmediğimizden dolayı, soğutma sistemine rağmen kristalin üzerindeki sıcaklığın nasıl arttığını bilmiyoruz. Bu yüzden kristal aralıklarla aşındırılıyor.



Şekil 2.5. İyon demeti aşındırma sistemimizin şematik gösterimi

Mesanın küçük alanı üzerinden kontak almanın zorluklarından dolayı birçok işlemi kapsayan farklı bir kontak tekniği kullanıyoruz. İlk olarak mesanın küçük bir alanı maskeyle örtülüyor ve CaF_2 yalıtkan katmanı buharlaştırma ile kristalin üzerine kaplanıyor (Şekil 2.6a). Daha sonra yarıkları mesa boyunca yerleştirilen gölgeli maske ve yalıtkan katman altlığın üzerine yerleştiriliyor ve $50 \mu\text{m}$ genişlikli altın şerit yalıtkan tabakanın ve mesanın üzerine kaplanıyor (Şekil 2.6.b). Sonuç olarak üç altın probe teli gümüş epoksiyle 2 desen ve mesa üzerine bağlanıyor. Mesa üzerindeki kontak akım ve voltaj ölçümleri için ortak bir probe'tur (Şekil 2.6.c)



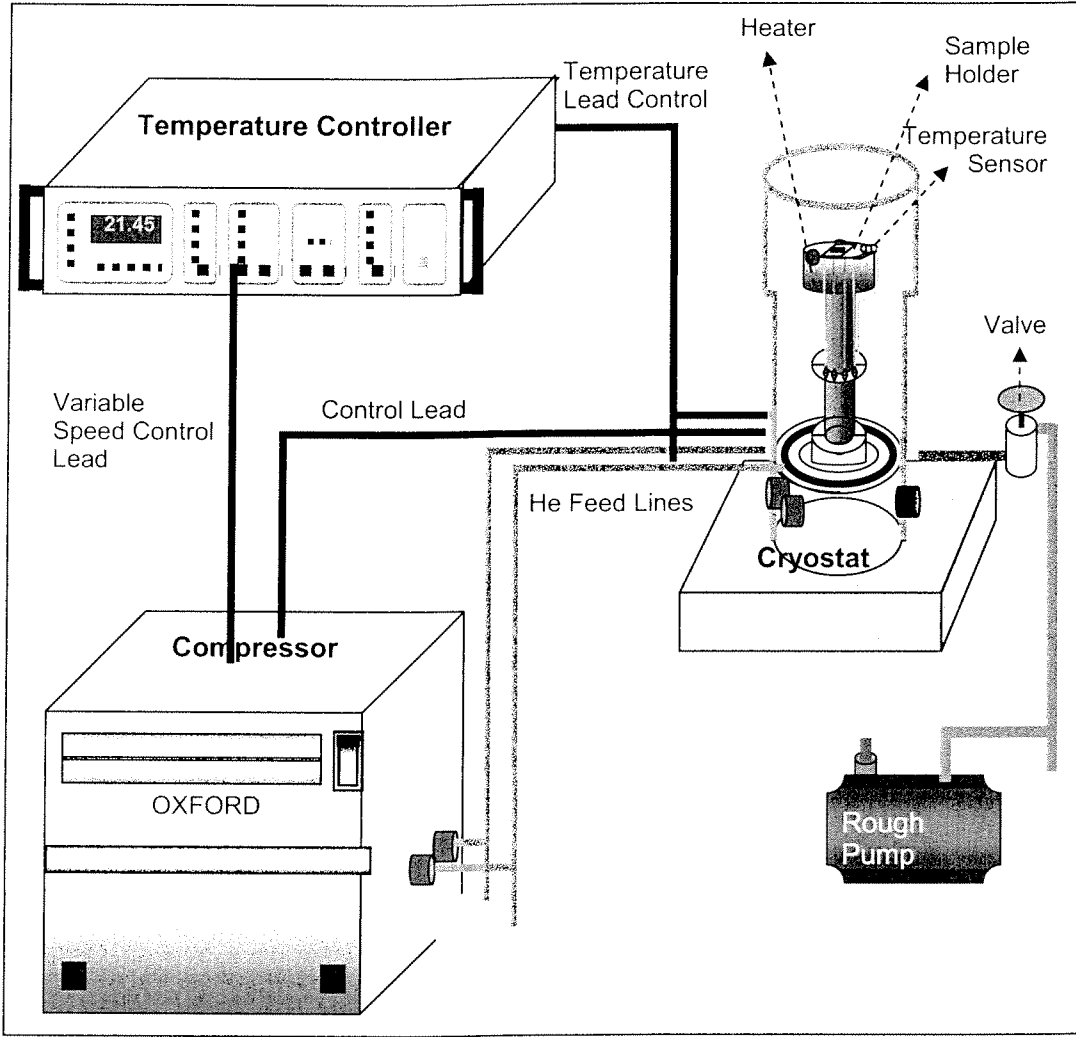
Şekil 2.6. Mesanın küçük bir alanı üzerinde üç nokta kontak tekniği

2.4 R-T ve I-V ölçümleri

Şekil 2.7 de görülen kapalı döngü soğutma sistemi kristalin sıcaklığını T_c nin altına düşürmek ve Bi2212 kristalinin süperiletken davranışlarını ölçmek için kullanılır. Sistem vakum yükleme soğutma yapısı, su soğutma kompresörü ve sıcaklık denetleyicisini kapsar. Sistemin çalışma prensibi soğutucunun soğuk basınçta He gazının genişmesine dayanır. İlk olarak He gazı su soğutma kompresörü ile 16,5 bar a sıkıştırılır, daha sonra sıkıştırılmış gaz esnek hatla soğutucuya transfer edilir. Soğuk başta He gazının sıkıştırılması ile soğutma üretilir ve sıcaklık denetleyicisi ile kontrol edilir.

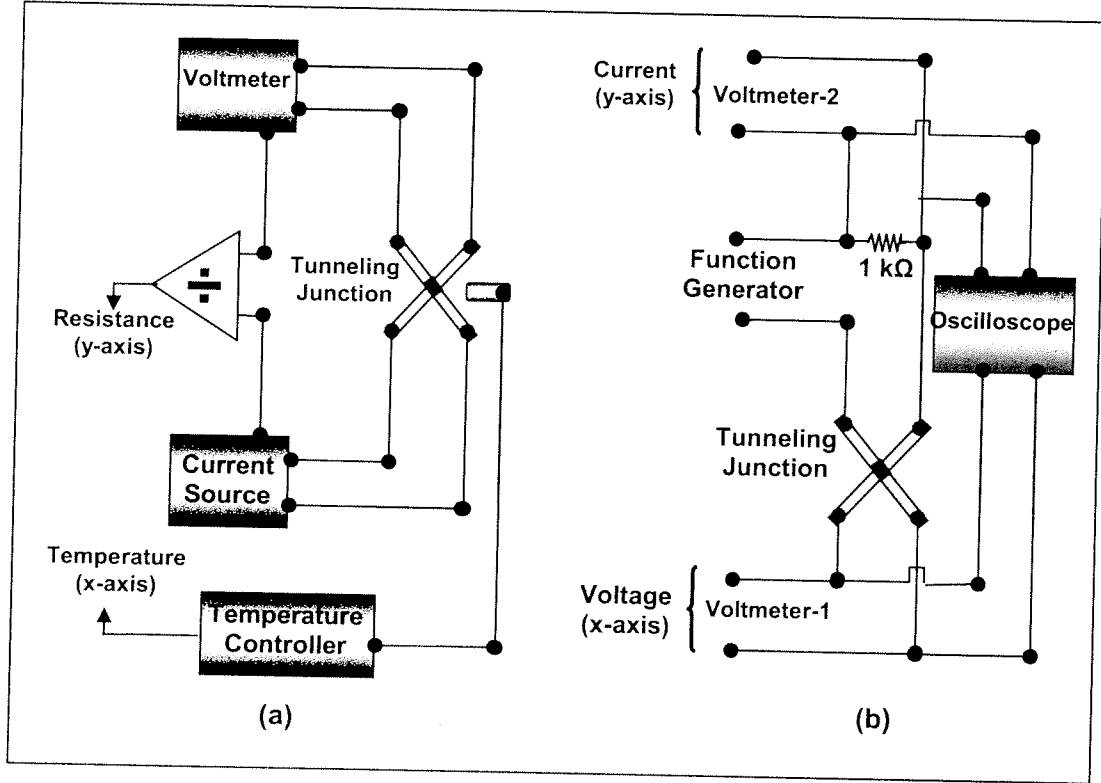
Malzeme tutucu ile soğutucunun koruyucusu arasındaki bölge vakumla termal izolasyon yaratmak için pompalanır ve etraftaki termal etkileri minimumda tutar. Gerekli düşük sıcaklığa ulaşmak için vakum 10^{-4} veya 10^{-5} mbar olmalıdır. Düşük vakum değerleri ($\sim 10^{-2}$ mbar) yüzünden, örnek sıcaklığı 20 K lik minimum değer civarına ulaşabilir.

Ayrıca, ölçümler esnasında termal dengeyi ve sıcaklık kontrolünü zor yapar. Öte yandan, bu soğutma sisteminin birçok avantajı vardır, bunların birçoğu çok ekonomiktir çünkü He gazı yitirilmeden kapalı döngü soğutması içerirler. Ayrıca ısıtıcıya ve kompresöre bağlanan sıcaklık sabit tutulabilir. İkinci soğutma sistemi olan sürekli He akışlı soğutucu sistemi bolometrik ölçümleri için kullanılır.



Şekil 2.7. Kapalı döngü soğutma sistemimizin şematığı

Mesela dirence karşı sıcaklık (R-T) ve akıma karşı voltaj (I-V) ölçümleri yaptık ve ölçümler için deneysel kurulumumuzun şematik gösterimi Şekil 2.8 de görülebilir. Kurulumlar bilgisayarla koordine edilebilir ve birçok aygıt kontrolünü data analizlerini ve data depolaması içeren Labview programıyla kontrol edilir. Ek olarak grafiksel programlama araçları ölçümler esnasında deneysel sonuçların yönelimini görmemizi sağlar ve ölçümler için program yaratımına izin veren blok diyagram formlarına sahiptir. Bu yüzden gerekli doğru ölçümlerle gerekli veriler elde edilir.



Şekil 2.8. Elektriksel kurulumumuzu şematik gösterimi

20 K ve oda sıcaklığı arasındaki sıcaklık değişimleri esnasında, sıcaklıkla mesa direnç değerlerinin eş zamanlı değişimi Şekil 2.8 deki deneysel kurulumu kullanarak ölçülebilir ve bilgisayarla koordine edilen akım kaynağı, voltmeter ve sıcaklık denetleyicisi içerir. Voltaj ve sıcaklıktaki değişimler sırasıyla voltmeter ve sıcaklık denetleyicisi ile ölçülür. Ölçüm sırasında mesa boyunca uygulanan akım sabit olduğundan dolayı R-T deneysel veriler Labview programıyla analiz edilir ve depolanır.

Tüm olarak doğru veriler elde edebilmek için, akım kaynağıyla hem pozitif hem de negatif yönlü akım hızlıca uygulanır ve aynı sıcaklıkta direnç iki kez ölçülür. Bu yüzden ortalama dirence karşılık sıcaklık kullanılır. Vakumla soğutma başı ve soğutucunun koruyucusu arasındaki bölgede termal izolasyon iyi bir şekilde yaratılamayacağından dolayı, kristal ve soğutma başı arasında termal denge sorunu vardır. Doğru veriler için, artan sıcaklık sırasındaki ölçümler R-T için dikkate alınır.

Şekil 2.8.b bilgisayarla koordine edilen I-V deneysel kurulumunu gösterir. Bu kurulum tüm eklemleri kapsamak üzere mesanın voltajını ölçmek için iki voltmeter gerektirir ve direnç üzerine uygulanan akım fonksiyon jeneratörü ve mesa arasından devreye seri olarak ve genliklerle akım uygulamak için kullanılır. Soğutucudaki ısıtıcıyla ve akan helyum gazı miktarıyla kontrol edilir. Histerik davranışlı ve çok sanki-parçacık dallı iyi I-V ölçümleri almak için düşük frekanslı akım yolları.

Osilatör ölçümlere başlamadan önceki I-V yönelimini ve voltaj atlama değerini görmemizi sağlar. Bu yüzden akıma karşı voltaj ve sabit sıcaklık verileri Labview programıyla elde edilir. I-V ölçümleri değişen sıcaklıklarda yapılır.

2.5 ÖJE lerden yayılmanın bolometrik dedeksiyonu

Bolometrik ölçümler Bi2212 nin c eksenini boyunca I-V ölçümleri kaydedilirken elde edilir. Ön gerilim azaldığında, Bi2212 üzerindeki mesanın uzun kenarlarından bolometreyle emisyon dedeksiyonunun deneyleri dikkate alınır. Sürekli akan soğutucu sistemi geniş sıcaklık aralığında bolometrik deneyleri gerçekleştirmek için kullanılır. Kristali soğutmak için sıvı helyum dış rezervuardan soğutucu içindeki soğuk bakır parmaklarına transfer edilir. Soğuk parmak üzerindeki örnek sıcaklığı sıcaklık denetleyicisiyle koordine edilen ısıtıcı ve sıcaklık sensörüyle kontrol edilir. I-V karakteristiklerinin

sadece sıcaklık bağıllığını değil ayrıca farklı sıcaklıklarda mesadan emisyonun dedeksiyonun da araştırılması çok önemlidir. Sistem ayrıca örneklerden yayılan emisyonun algılamak için optik soğutucuya sahiptir.

Soğuk parmakla soğutucunun koruyucusu arasını yüksek vakuma kadar pompalayan Turba moleküller pompaya sahiptir. İyi termal izolasyondan dolayı, örneğin sıcaklığı 4.5 K civarına kadar düşürülebilir ve ayrıca çok yüksek vakumda ısı izolasyonu ölçümlerdeki ortam sıcaklığının etkisi azaltılabilir.

Safir altlıklar mesanın uzun kenarları optik soğutucunun penceresine karşı olacak şekilde soğuk parmaklara yerleştirilir. Si bolometremizin süreksiz ışığı algılayabilmesinden dolayı, soğutucu pencere ve bolometre arasına kesici yerleştirilir.(ışık emisyonunu atmaya modüle etmek için) ölçümlerimiz için kesici frekansı 140 Hzdir. Çalışma sıcaklığından dolayı Si bolometre sıvı helyumla soğutulur. Bolometreden çıkan sinyal lock-in amplifikatörü ile yükseltilir ve bu mesadan yayılan ışımının emisyon gücüne tekabül eder. İlk amacımız I-V ölçümleri sırasında örnekten emisyon piki gözlemlemek. Bu yüzden sistem tüm ÖJE lerin tünelleme karakteristikleri ve kristal yapısı hakkında bilgi vermek için yeterlidir. Bu yüzden THz emisyonu elde etmek için mesa içindeki ÖJE lerin sekronizasyonu hakkında önerdiğimiz metod uzun mesa boyunca DC voltaj uygulanması gerektirir (Ozyuzer et al. 2007). ÖJE lerin emisyon piklerine karşılık olan bu DC voltaj değerleri uzun mesa boyunca I-V ölçümleri sırasındaki bolometrik ölçümlerle taranır. Bu yüzden iki ölçüm aynı anda kaydedilir. Ölçümlerde kullanılan aygıtlar (Fonksiyon jeneratörü, voltmetre, sıcaklık denetleyici ve Lock-in yükselteci) bilgisayar tarafından koordine edilir ve Labview programıyla kontrol edilir.

BÖLÜM 3

SONUÇLAR

Bu çalışmada, vakum kaplama, fotolitografi ve iyon demeti aşındırması tekniklerini kullanarak Ca katkılı Bi2212 tek kristallerinin üstünde geniş ve uzun mesalar üretildi. Çalışmamızın asıl amacı THz ışınması üretmek olduğundan dolayı, emisyon prensibimize göre gerekli boyutlarda ve yüksekliklerde mesalar üretildi. İyi mesaların üretimi çalışmamızın ilk basamağıdır ve gerekli mesa yapısı için birçok deney yapıldı.

Bi2212 tek kristalinin c eksenini mesa yüksekliği boyunca uzanır, bu yüzden üretim işleminden sonra mesa yüksekliği boyunca uzanan ÖJELERİN sayısı elde edilir. ÖJE nin kalınlığının 1.5nm olduğu bilindiğinden dolayı, mesa içindeki ÖJE lerin sayısı mesa yüksekliğinden hesaplanabilir. Örneğin 1 µm yüksekliğinde mesa yaklaşık olarak 670 ÖJE i içerir. Bu yüzden çalışmamız için kalınlık ölçümleri çok önemlidir ve atomik kuvvet mikroskopuyla (AFM) analiz edilirler.

ÖJE lerinde ki tünelleme davranışlarının süper iletkenlik ve sıcaklık bağılılığı hakkında bilgi edinmek için mesaların elektriksel karakterizasyonları R-T ve I-V ölçümleri ile yapıldı. Ayrıca onların sıcaklık bağılılıkları ve ısınma etkisinin tesirleri bu elektriksel ölçümlerle analiz edildi. Kadowaki ve diğ. (2006) tarafından yayınlan çalışmada, çeşitli sıcaklıklarda THz ışınma gücü araştırıldı ve Bi2212 içindeki ÖJE lerin emisyon gücünün sıcaklıkla değiştiği bulundu. Ayrıca bu (Ozyuzer ve diğ., 2007) tarafından yapılan başka bir çalışmada da doğrulandı. Süperiletkenlik durumdan farklı sıcaklıklarda koherent THz emisyonu elde ettiler. Bu yüzden farklı sıcaklıklarda üretilen mesaların I-V ölçümleri emisyonun bolometrik dedeksiyonundan önce analiz edilir.

Sıcaklık ÖJE yığınlarından yayılan THz ışınmasının dedeksiyon parametrelerinden biridir, bu yüzden bolometrik ölçümler aynı mesa için farklı sıcaklıklarda tekrarlandı. Mesanın uzun kenarından emisyon pik dedeksiyonları ölçümleri I-V ölçümleriyle aynı anda kaydedildi. Bu ölçümler sabit sıcaklıkta birçok kez tekrarlanıyor çünkü bolometrik çıktı pikleri sifıra doğru azalan ön gerilimin her bir taraması için tekrar üretilebilir olmalı. Bu yüzden onların Bi2212 den emisyonla olduğu açıkça söylenebilir.

3.1 Mesa kalınlık ölçümlerinin sonuçları

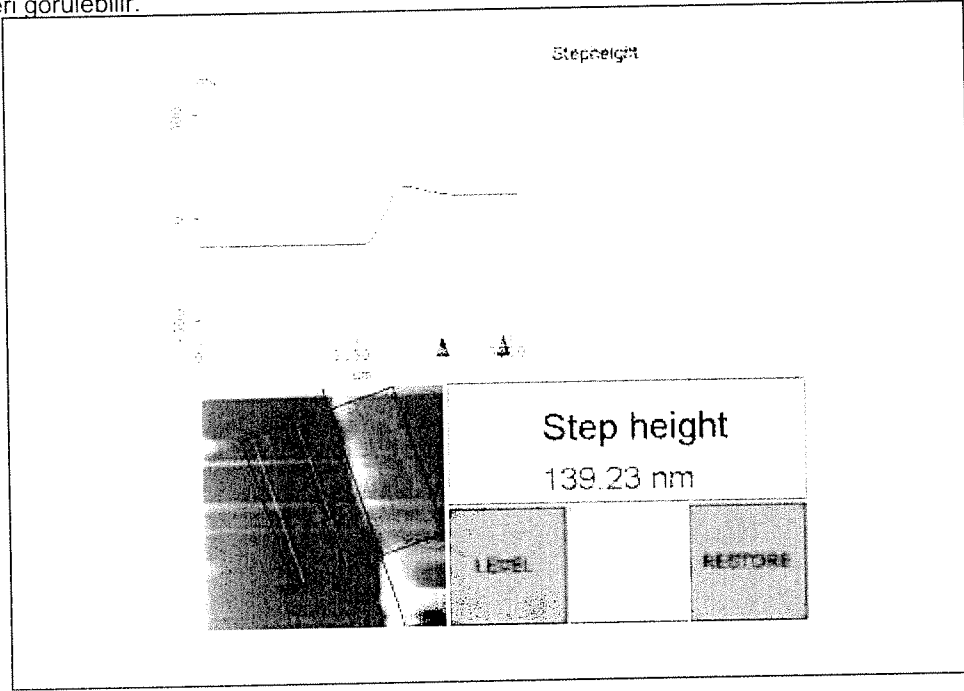
İYTE malzeme araştırma merkezinde yapılan AFM ölçümlerinde tapping modu kullanıldı. Tapping modunun bazı avantajları; yumuşak yüzeyli örneklerin üzerinde bu modun yanal çözünürlüğü AFM nin diğer modlarından daha çok gelişmiştir ve ayrıca yüzey distorsiyonlarını minimuma indirir (Martin, ve diğ., 1987). AFM nin yüzey topografik görüntülerinde, karanlıktan parlaklığa değişimler gibi renk kontrastları yüzey üzerindeki engebeli yapıyı belirlememizi sağlar. Mesanın iki boyutlu yüzey topografik analizlerinin ötesinde, 3 boyutlu görüntü, basamak yüksekliği ve üretilen mesanın yanal açısı AFM verileriyle analiz edilir.

Üretilen mesanın yüksekliği AFM ile ölçülebilir ancak bu yükseklik altın katmanının yüksekliğinde içerir. Sadece mesa yüksekliğini öğrenmek için altın katmanının yüksekliğini ölçülen yükseklikten çıkarmalıyız, bu sebeple mesa üzerindeki altın yüksekliğini ölçmeliyiz. Ancak mesanın üzerindeki altın katmanının yüksekliğini ölçmemiz mümkün değildir, bu yüzden buharlaştırmaya başlamadan önce buharlaştırıcıdaki örneğin yanına temiz cam yerleştiririz. Buharlaştırmanın sonunda mesa ve cam üzerindeki altın kalınlığı aynı olacağından dolayı, altın katmanının yüksekliğini sadece altın katmanını iğne ile hafifçe çizerek ölçeriz.

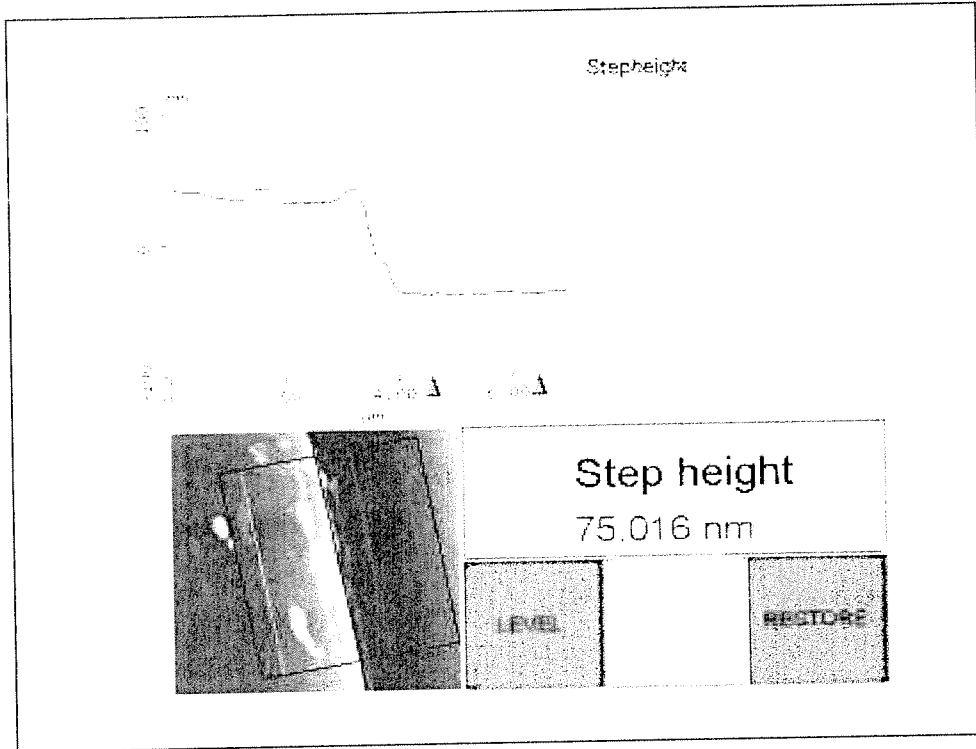
Altın katman kaplama seçiminin sebebi sadece kristal yüzeyini mesa üretimi sırasında korumaktır. Bu yüzden kalın altın katman gerekli değildir. 100 nm civarında katmanı planlamamıza rağmen, farklı yüksekliklerde altın katmanı elde ettik çünkü kalınlığı buharlaştırma esnasında tam olarak kontrol edemiyoruz. Ancak altın kalınlığının elektriksel ölçümlerde hiçbir etkisi yok çünkü altın iyi bir termal iletkenidir.

Sırasıyla iyte-mesa1 ve HB26 ya ait olan Şekil 3.1. ve Şekil 3.2 de farklı mesalar üzerinde bazı altın katman kalınlıklarının basamak yüksekliği analizleri görülebilir. Bu basamak yüksekliği analizlerine göre mesalar üzerindeki altın katman yükseklikleri sırasıyla 139 nm ve 75 nm dir. Bu kalınlık ölçümleri sadece mesa yüksekliğinin bulunmasında kullanıldı. Bu yüzden mesa üzerindeki her bir altın tabaka

için birçok kez ölçüldü. Tablo 3.2 de tüm üretilen mesaların üzerindeki altın katmanının kalınlık değerleri görülebilir.



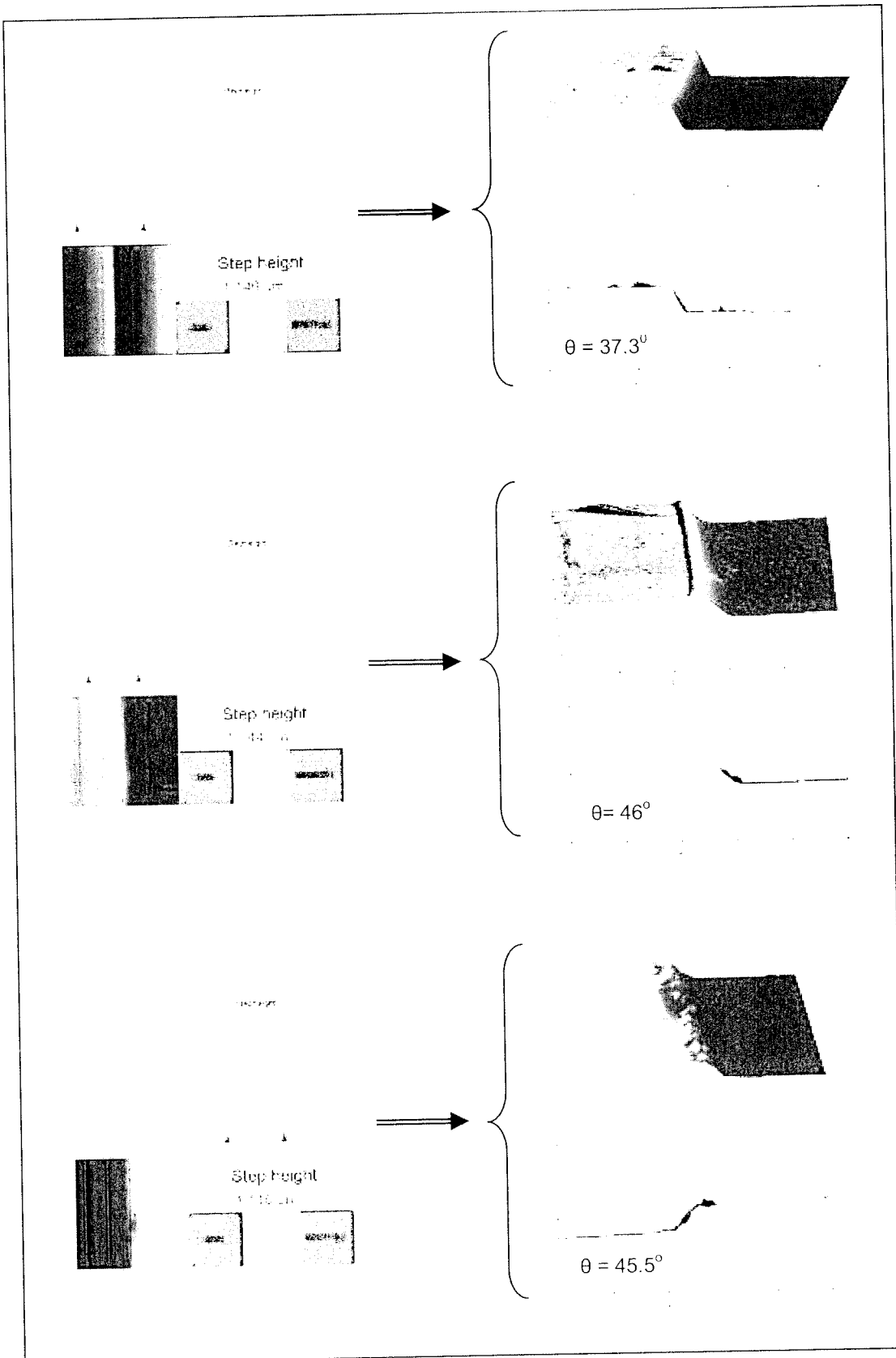
Şekil 3.1. İyte mesa1 üzerindeki altın katmanı step yüksekliği analizleri



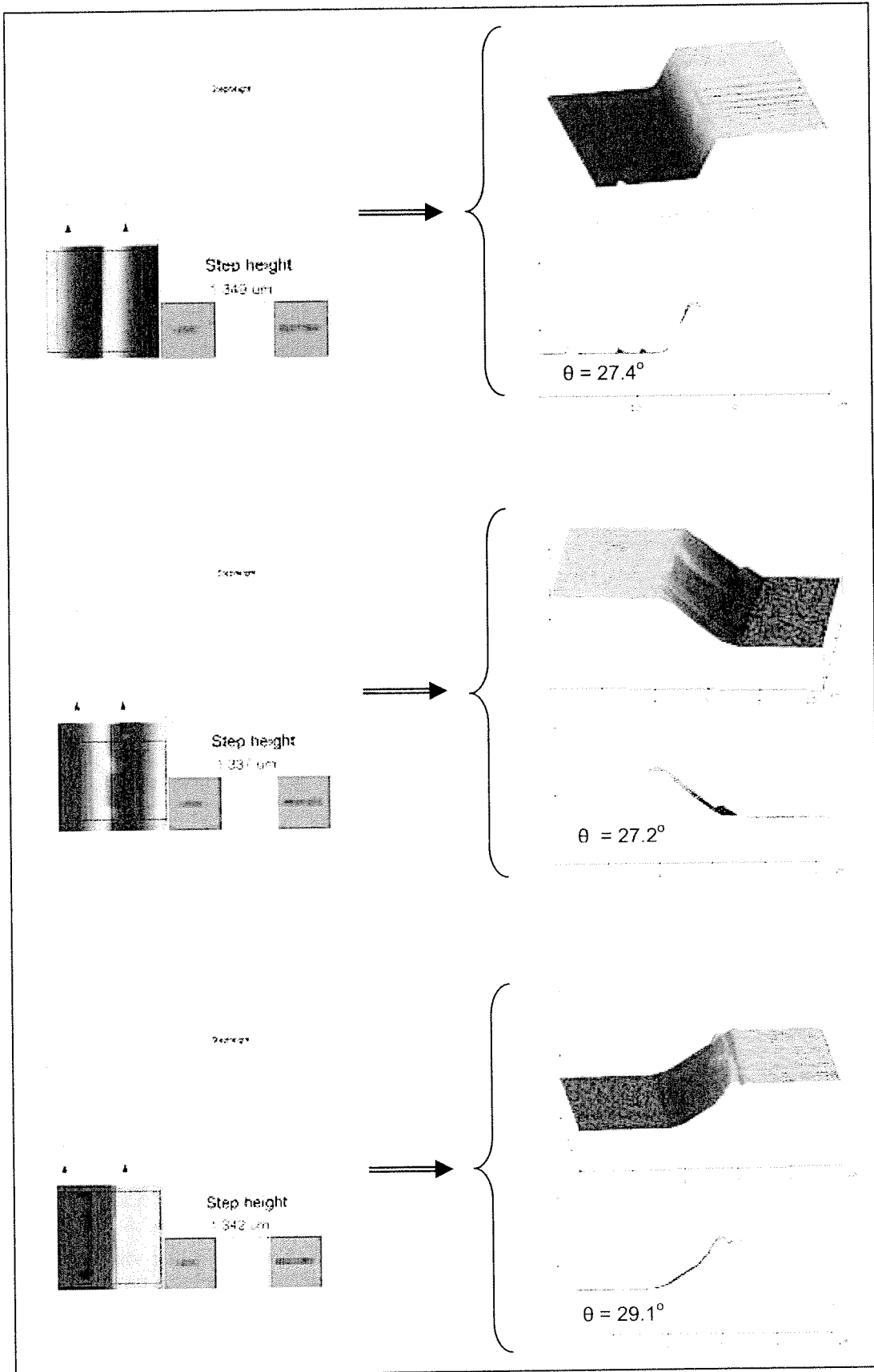
Şekil 3.2. HB26 örneği üzerindeki altın katmanı step yüksekliği analizleri

Mesa üzerindeki AFM ölçümlerinin sonuçları tüm üretim işleminden sonra mesa yüksekliği ve onların yanal açılarıyla ilgili bilgi edinmemizi sağlar, bu yüzden sadece deneysel işlemlerin önce hatalarımızı görmemizi değil ayrıca yapılacak hataları indirgememizi sağlayan AFM analizleri mesa üretim işlemimizin kontrol mekanizmasıdır. Ayrıca, mesanın her bir kenarı için mesa yüksekliğinin ve yanal açılarının homojen dağılımını incelememiz için bu ölçümler mesanın farklı kenarları için yapılır. Şekil 3.3 ve 3.4 farklı mesalara ait basamak yüksekliği analizlerini ve 3D görüntülerini gösterir. Her bir figür mesanın farklı kenarlarında ölçülen AFM görüntülerini içerir. 2-3 saat aşındırmanın sonucunda kabaca 1 µm yükseklikli mesalar elde edildi. Her bir örnek için mesanın farklı kenarlarından ölçülen yükseklikleri yaklaşık olarak aynı. Bu uzunluklar çalışmamız için yeterli olmasına rağmen, üretilen mesaların yanal açıları çok düşük. Tablo 3.1 de mesaların tüm açıları ve kalınlıkları görülebilir. Şekil 3.5.a da görülebildiği gibi mesanın kenarları numaralandırıldı ve bu numaralara karşılık gelen açılar Tablo 3.1 de görülmüyor. Tüm üretilen mesalar için yanal açılar 45° nin altında. Bu THz emisyonu için asıl problem gibi gözüküyor çünkü düşük açıların anlamı mesanın iki yamuk geometrik şekline sahip olması demektir. Eğer tüm eklemler aynı alana sahipse, mesa içindeki senkronizasyon meydana geleceği umuluyor.

Düşük açılı mesa elde etmemizin birçok sebebi var. Asıl sebep mesa yüksekliğinde yaklaşık olarak 2-5 kat daha kalın olan 2-3 µm lik fotorezist tabakasıdır. Diğer bir bakıma fotorezist katmanını uzun süreli iyon demeti aşındırma sırasında mesa alanını koruyabilmesi için kalın olmalıdır. Ancak, kalın fotorezist katmanı küçük yanal açığa sebep olur çünkü iyonlar 45° açıyla mesaya doğru ivmelendirilir ve kalın fotorezist mesanın kenarındaki bölgeyi gölgelendirir. Bu yüzden mesa yüksekliği aşındırma zamanıyla yükselirken, mesa yayılmaya başlar ve düşük yanal açılı mesalar elde edilir (Şekil 3.5.b). Bu yüzden mesanın en alt kenarının açısı daha fazla gölgelendirilmeden dolayı daha düşüktür ve iyon demeti chamber daki örnek tutucu üzerindeki mesanın yeri önemlidir. Mesanın uzun kenarları örnek tutucusunun açısına paralel olacak şekilde örnek tutucuya yerleştirilir. Bu mesanın uzun kenarlarından yüksek yanal açı elde etmeyi sağlar ama bu açılar iyon demeti aşındırmasında sonra hala yeterli değildir. Bu ayrıca iyon demeti aşındırmasından da kaynaklanıyor olabilir. Grubumuzun son çalışmalarında, mesa aşındırma sırasında döndürüldü bu parametreler değiştirildi. Çalışmada iyon demeti aşındırma parametreleri Tablo 3.1 de görüldüğü gibidir.



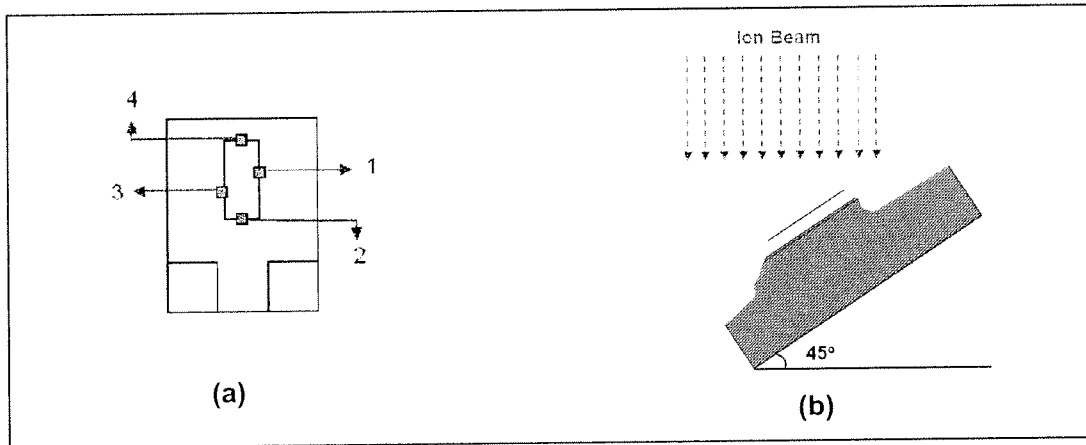
Şekil 3.3. HB26n'nin basamak yüksekliği ve yanal açısı analizleri



Şekil 3.4. HB28in basamak yüksekliği ve yanıl açıl analizleri

Sample	PR Thic k. (μm)	Ion Beam Etching				Mesa Height (μm)	Lateral Angles of mesa			
		Power (W)	Gas Flow (sccm)	Time (min.)	Cool. Sample		1	2	3	4
lyte-mesa1	2.3	22 W 700 V	Ar 20	150	No	0.851	-	27	-	-
HB26	2.3	42 W 700 V	Ar 15	140	Circul. Water	1.058	41	-	45	-
HB28	2.3	42 W 700 V	Ar 15	140	Circul. Water	1.276	28	-	27	-
HB34	2.3	42 W 700 V	Ar 15	120	Circul. Water	1.36	33	-	34	-
HB35	2.3	46 W 700 V	Ar 15	120	Circul. Water	1.002	21	-	-	-

Tablo 3.1. Mesaların AFM sonuçları ve mesa üretim işlemindeki deneysel parametreleri



Şekil 3.5. Mesa üzerindeki bölgelerin yanıl açılari

İyonlar ve kristal atomları arasındaki çarpışmadan dolayı, iyon demeti aşındırması esnasında ısınma meydana gelir. Bu yüzden aşındırma sırasında örnek üzerindeki ısınmayı yok etmek için sürekli akan su ile soğutulmaktadır. İyi soğutma sisteminin, örneğin sürekli döndürülmesinin ve örnek normali ve iyon demeti eksenini arasındaki ayarlanabilir eğiminin mesa yanıl boyutlarındaki aşındırma problemlerine neden olmaktadır. Ayrıca ince ve daha dirençli fotorezist gerekir.

3.2 Elektriksel Sonuçlar

3.2.1 Bi2212 içinde c eksenini Direncinin Sıcaklığa Bağlılığı

Kapalı döngü Helyum soğutması ve sürekli akan soğutma sistemi kullanarak mesa yüksekliği boyunca dirence karşılık sıcaklık ölçtük. Bi2212 nin c eksenini sıcaklık bağılılığı ve normal iletkenden süper iletkene faz geçişleri sırasıyla lyte-mesa1, HB26, HB28 ve HB34 örneklerine ait olan Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da görülebilirler.

İlk olarak süper iletkenlik haline keskin faz geçişini R-T figürlerinde görülür. Geçiş sıcaklıkları ve geçiş genişlik değerleri (ΔT) Tablo 3.2 de görülür. Mesa üretimi için kullanılan tüm Bi2212 tek kristalleri

under-doped bölgesinde olmasına rağmen, farklı soğutma sistemlerinden dolayı geçiş sıcaklıklarında fark vardır. Örneğin kapalı döngü soğutma sistemi içindeki vakum kristal üzerinde çevre sıcaklığının etkisini yeterince azaltmaz ve örneğin soğutmasını zor hale getirir. Yeni soğutma sisteminde böyle bir problem yok çünkü daha iyi vakum değerlerine (10^{-6} Torr) ulaşabiliyor. Ayrıca oksijen doping oranı her bir kristalin içinde farklı olabilir veya mesa üretiminde bazı ısınma işlemleri ile değişebilir. Bi2212 kristalinin doping oranları onun geçiş sıcaklığını değiştirebilir. Aynı kristalde yapılan eski çalışmalar, büyütülen kristallerin kritik sıcaklıklarının 72-74 K civarında olduğu yayınlandı. Under-doped bölgesinde Ca katkılı Bi2212 tek kristallerinin kritik sıcaklıklarının 62 K olduğu kanıtlandı. Bizim T_c değerlerimiz 64K ve 73K arasında değişiyor (Tablo 3.2), under-doped bölgesinde oldukları Bi2212 nin faz diyagramlarından görülüyor. Doping oranının T_c üzerinde etkisinin ötesinde, Ca katkılı Bi2212 tek kristalinin stokiometrik Bi2212 den daha az geçiş genişliğine sahip olduğu faz diyagramında gösterildi (Ozyuzer ve diğ., 2003).

300 K den T_c ye, c eksenine boyunca as-grown Bi2212 tek kristalinin sıcaklık bağımlı direncinin karakteristik davranışları figürlerde görülebilir. Yani oda sıcaklığından T_c ye doğru eksponansiyel artan direnç iyi gözlemlenebilir ve mesa direncindeki değişimler Tablo 3.2 de görülebilir. Tüm üretilen mesalar için R_{Tc}/R_{300K} oranları 3.5 ile 5 arasındadır.

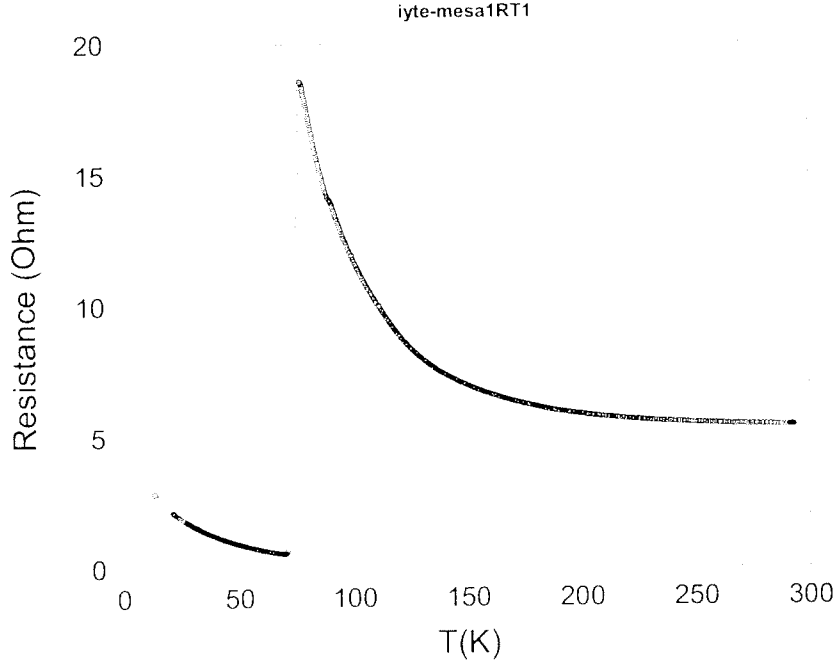
Sample Name	Mesa Size (μm)	Thickness Measurements		Resist. vs. Temp.			Critical Temperature	
		Au Layer (nm)	Mesa (nm)	R_{300K} (Ω)	R_{Tc} (Ω)	$\frac{R_{300K}}{R_{Tc}}$	T_c (K)	ΔT (K)
lyte mesa-1	100x300	139	851	5.40	18.61	3.45	73.5	6.81
HB26	100x300	75.06	1058.3	7.45	38.41	5.15	64.8	1.42
HB28	100x300	66.02	1276.6	8.62	38.71	4.5	64.1	3.75
HB34	100x300	131	1360	12.31	46.94	3.81	65.0	8.06
HB 35	100x300	145	1002	31.17	119.4	3.83	69.1	8.62

Tablo 3.2. Ca katkılı Bi2212 tek kristali üzerindeki mesanın direncinin değişimi

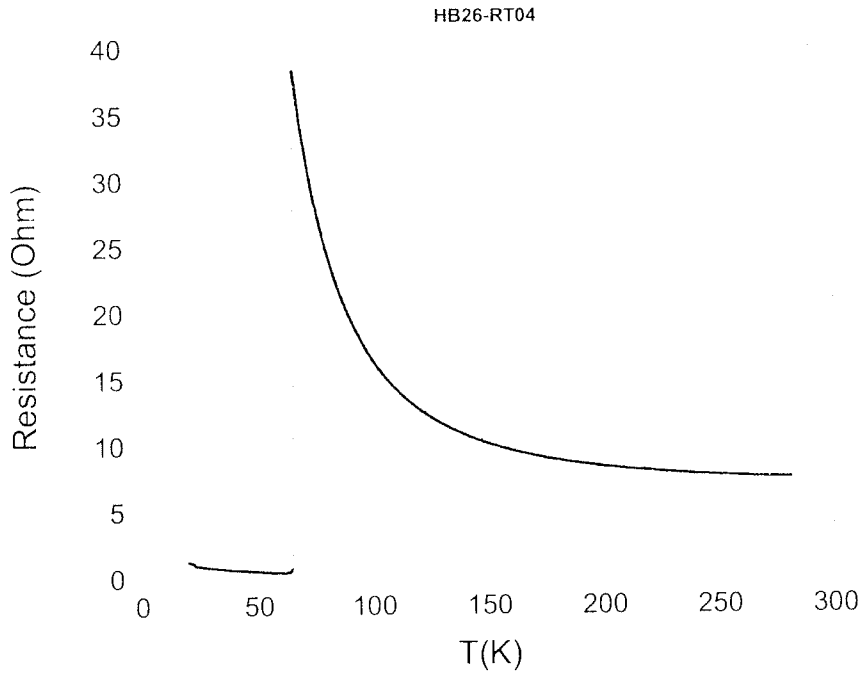
Kritik sıcaklıklardan düşük sıcaklıklara doğru dirençte yükselme alışılmamış bir biçimde tüm R-T grafiklerinde görülüyor. Bu durum süper iletken kristaline uygun sıcaklık bağımlı elektriksel bir davranış değildir. Bu üç prob metodundan kaynaklanıyor. Bu metod genelde dört nokta metoduna tercih edilmiyor çünkü mesa üstünde bir kontak probu var ve bu hem akım uygulamada hem de voltaj ölçmede kullanılıyor ve süper iletkenlik durumunda dirence sebep oluyor. Ancak dört nokta metodu mesa üzerinde uygulanmak için çok zor ve teknik ekipmanlarla bazı deneysel işlemler gerektiriyor. Bu ayrıca (Yurgens ve diğ., 1997) tarafından yayınlanan makalede bulunabilir.

HB34 ün R-T grafiğinde, T_c nin altında kontak direnci açıkça görülebilir. Kontak direncini minimize etmek için, örnekler 350°C de tavlansın ama Bi2212 içinde oksijen doping seviyeleri değişmediğinden dolayı genelde tercih edilmez. Kontak direnci için birçok sebep var. İlk olarak altın teli bağlamak için kullanılan gümüş epoksinin direnci olabilir, çünkü bu iletken yapıya iki eşit bileşimi karıştırarak elde edilir. Eğer iyi karıştırılmazlarsa iletkenlikleri daha düşük olur. Diğer bir sebepten altın katmanı ve

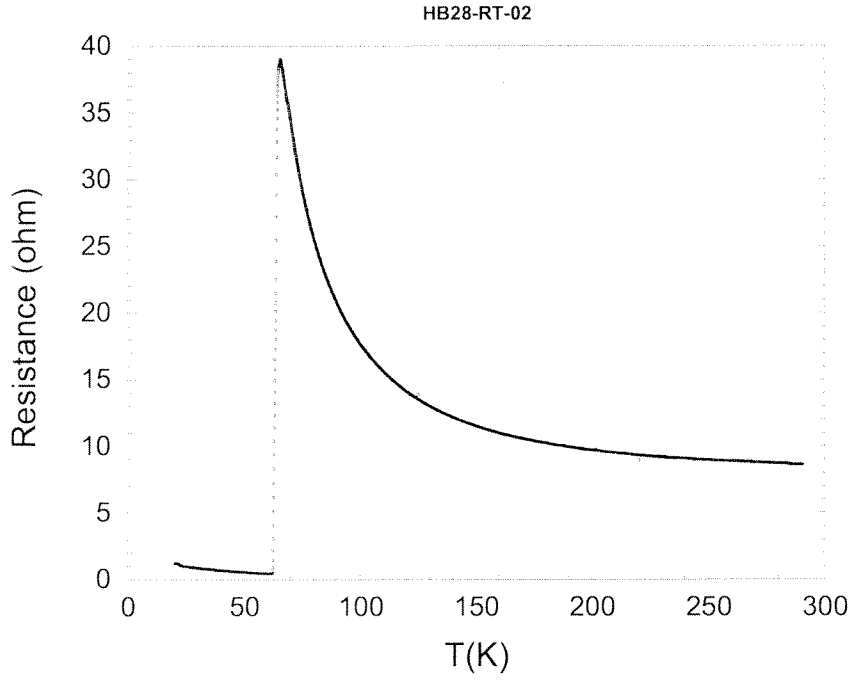
Bi2212 nin arasındaki ara yüzeydir. Bu çeşit bir kontak direnci düşük sıcaklıklarda artar çünkü ara yüzey tünelleme bariyeri gibi davranır ve bu bariyerin yüksekliğinin sıcaklık bağımlılığı kontak direncinde baskındır. Bu sebeple R-T grafiklerinde T_c den düşük sıcaklıklara doğru dirençte yükselme görüyoruz.



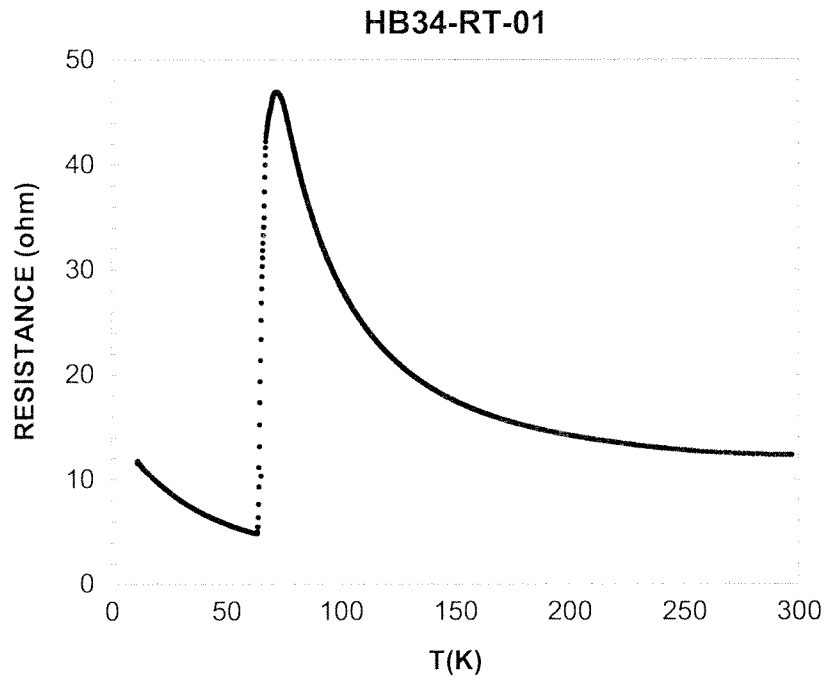
Şekil 3.6. iyte-mesa1 in dirence karşı sıcaklık değişimleri



Şekil 3.7. HB26'nın dirence karşı sıcaklık değişimleri.



Şekil 3.8. HB28 in dirence karşı sıcaklık değışimleri



Şekil 3.9. HB34 ün dirence karşı sıcaklık değışimleri

3.2.2 Bi2212 tek kristalinin tünelleme karakteristikleri

Bi2212 nin c eksenine I-V ölçümlerimizde, sıcaklık T_c sinin altında olduğu zaman sanki-parçacık dalları ve geniş histerik davranışlar görülebilir. Bunlar Bi2212 anizotropik süperiletken maddesinin karakteristik c eksenine tünelleme davranışlarıdır. Üretilen mesalar birçok ÖJE ler içerir. Bu yüzden I-V ölçümleri tüm ÖJE yığınlarının katkılarını içeren tünelleme davranışı gösterir. Sanki-parçacık dallarının karşılığı olan voltaj atlamaları I-V grafiklerinde görülebilir. Ön gerilim artarken bu dallar, tüm ÖJE ler tam olarak normal halde olana kadar voltaj atlamaları gibi gözükürler. Sıfır voltajdan negatif ve pozitif olarak ön gerilimin gönderilmesi esnasında bireysel ÖJE ön akımın I_c yi geçmesiyle Josephson halinden sanki-parçacık haline geçtiği zaman her bir dal meydana gelir. Bu yüzden ÖJE lerin sayısı kadar dallar gözlemlenir (Yurgens 2000). Josephson ve sanki-parçacık akımları detaylı I-V grafiklerimizde aynı anda gösterildi. İlk olarak histerik davranışlı Josephson akımı sıfır ön gerilimde görüldü ve tüm ÖJE ler süperiletken halindeyken sadece Cooper çifti tünellemesinden sanki-parçacık tünellemesine akımın değiştirilmesiyle sonuçlanır (Ozyuzer ve diğ., 2000). Josephson akımının aşılmasında sonra I-V datası tek tek ÖJE lere karşılık olan sanki-parçacık dallarını gösterir. Tüm ÖJE lerin normal hale geçmeye başladığı voltaj değeri ÖJE lerin toplam iletkenlik piki olarak adlandırılır. Örneğin, eğer bireysel SIS Josephson eklemine karşılık olan süperiletken enerji aralığını bulmak istersek I-V datalarındaki voltaj değerleri ÖJE lerin sayısına bölünmelidir (Yurgens 2000). Ön gerilim azalırken I-V datası bu dalları göstermez çünkü normal halden süperiletken haline geçiş vardır. Bu yüzden birçok dallı geniş histerik I-V eğrisi gözlemlenir.

IV de daha fazla sanki-parçacık dalları elde etmek için mesa üzerindeki ac ön akımı fonksiyon jeneratörü ile negatif ve pozitif olarak yollandığında frekans düşük olmalıdır. Ölçümlerimizde daha fazla dal gözlemlenmek için 0,1 ve 5mHz arasındaydı ve üçgen dalga formuna sahiptir. Özellikle artan ön gerilimin ve düşük frekanslı ac akımı kullanıldı çünkü dallar ön gerilimin negatif ve pozitif olarak artması esnasında görülür. Ayrıca yüksek ön gerilimden dolayı mesa da ısınmaya izin vermemek için fonksiyon jeneratörünün çıktı genliği yavaşça artırıldı. Bu yüzden ısınma etkisinin tesiri ile karşılaşmadan, dallar fonksiyon jeneratörünün çıktı genliğini basamak basamak arttırarak elde edildi. Deneye başlamadan önce mesa için maksimum çıktı genliğini öğrenmek için, osiloskop kullanıldı. Gözlemlenemeyen dal olasılığı için, I-V ölçümleri aynı genlikte birçok kez tekrarlandı.

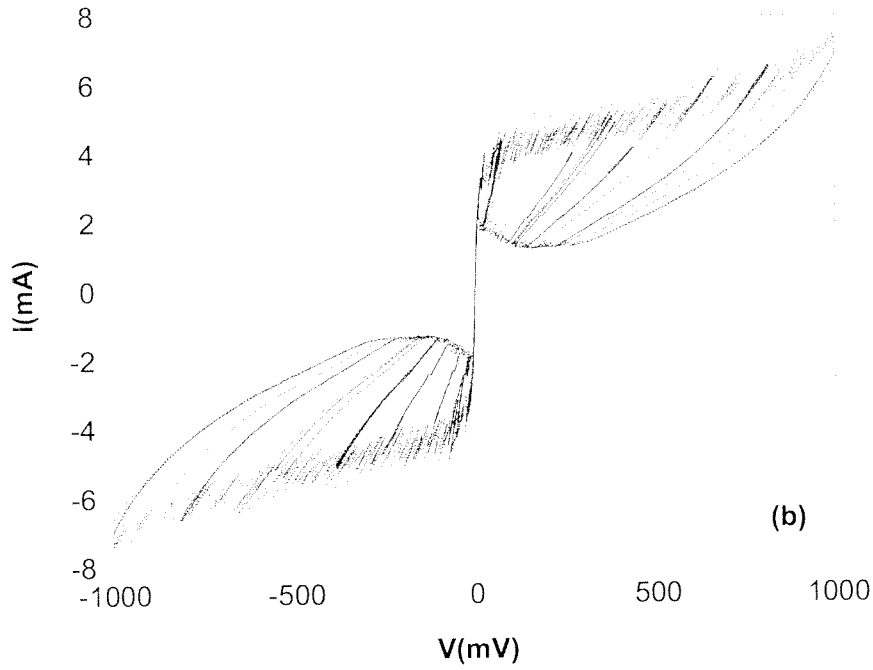
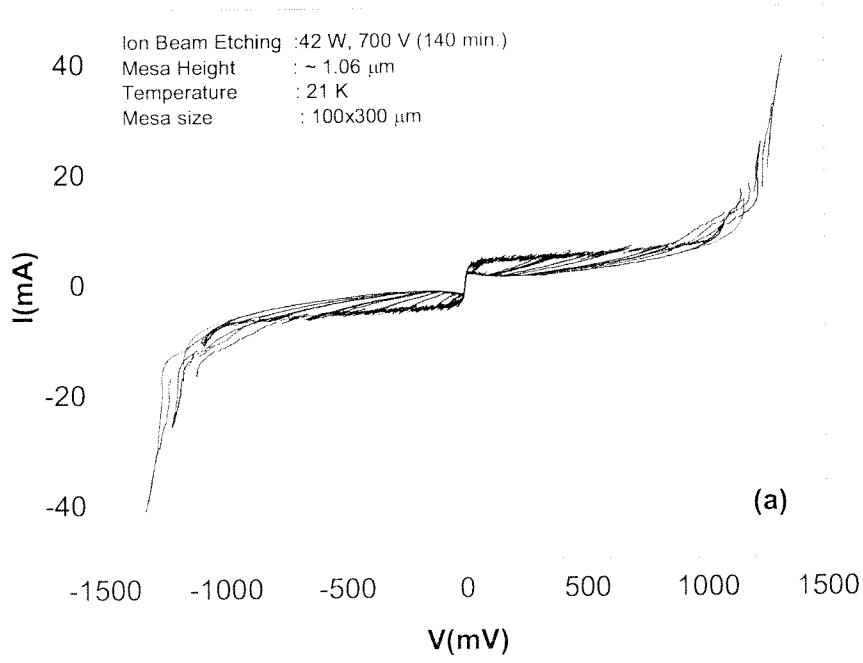
Normal olarak, eğer tüm ÖJE ler kritik akıma ve eklem alanına göre daha özdeşse, dallar arasındaki uzaklık aynı kademeli akım artışına ve voltaj atlamasına sahiptir. Ancak, üretilen mesalarımız 1 μ m civarında, bu yüzden yaklaşık olarak 670 dal umuyoruz. Bu kadar çok ÖJE mesada daha çok ısınmaya sebep olur ve daha fazla ısınma sadece daha fazla dalın yok olmasını zor hale getirmez ayrıca voltaj atlamalarının eş uzaklıkları düzensiz hale gelir (Yurgens 2000). Daha yüksek ön gerilimlerde uzaklık bir birlerine daha yakın olur (Kurter 2005). Ayrıca I-V grafiklerinden enerji aralığı ısınmasının hesaplanmasının zor olduğu söylenir çünkü süperiletkenin enerji aralığını düşürür.

I-V ölçümlerimizde ısınma etkisinin tesiri Şekil 3.10 da ve 3.11 de görülebilir. Daha az sanki-parçacık dalları ölçümlerimizde görülüyor. Bazen bu yüksek tarama frekansı ve fonksiyon jeneratör çıktısının genliğindeki hızlı artış gibi ölçüm sorunlarından dolayı kaynaklanabilir veya I-V ölçümlerimizin genel durumu ısınma etkisini ortaya çıkarır. Şekil 3.10.a da düzensizlik ve 1V yakınındaki toplam iletkenlik pikinin dallaması mesa içindeki ısınmanın bir kanıtıdır. Süperiletken malzememizin düşük termal iletkenliğe sahip olmasından dolayı uygulanan ön akım sırasında ısınmanın dağılımında problem vardır.

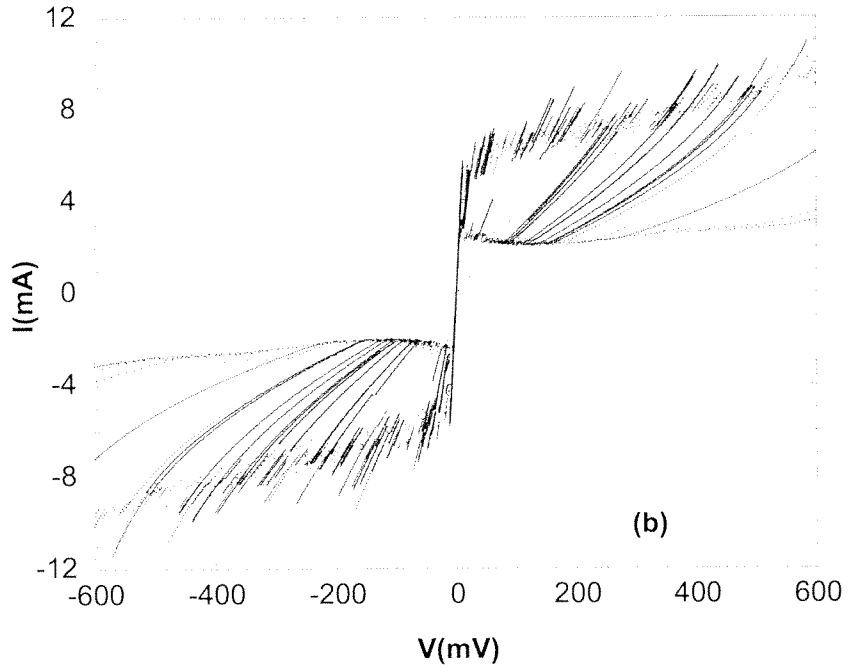
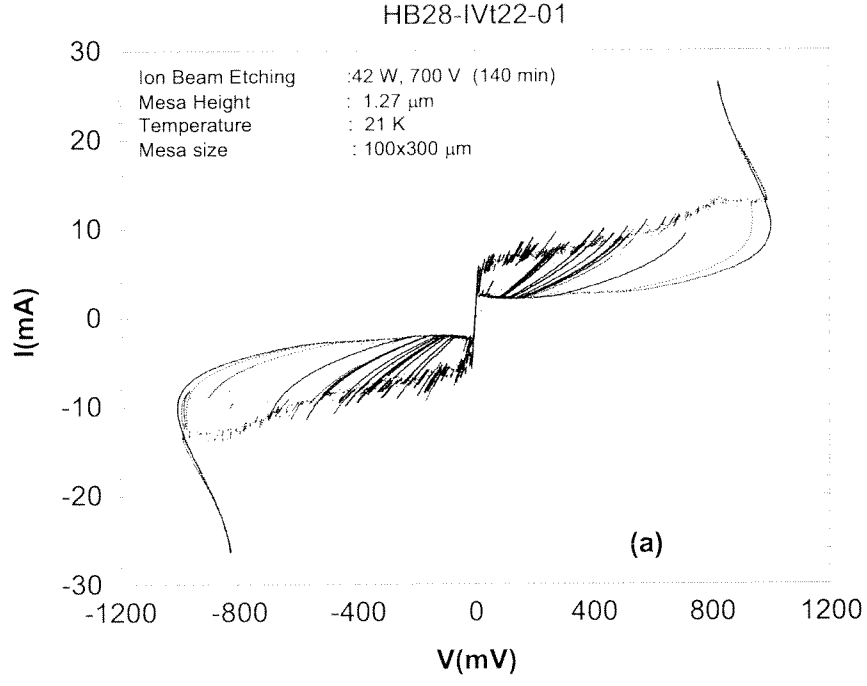
Bu yüzden lokal ısınma kristalin üzerinde meydana gelir ve eğer sıcaklığı kritik sıcaklığın üzerine geçerse Süperiletkenlik hali bazı bölgelerde yok olur. Ayrıca ince yalıtkan katman ve joule ısınmasından kaynaklanan dengesiz sanki-parçacık tünellemesi back banding e sebep olur (Tanable ve diğ., 1996). Şekil 3.11a da, yüksek ön gerilimler de back banding görülür.

HB 26 ve HB 28 in I-V ölçümleri aynı sıcaklıkta yapıldı ve onların mesa boyutları aynı ama HB 28 in mesa yüksekliği HB 26 nın yüksekliğinden fazladır ve mesa yüksekliklerindeki fark yaklaşık 200 nm. Bu yüzden HB 28 in toplam iletkenlik pikinin HB26 nın kinden daha fazla olacağı umuluyor. Ancak, iki I-V grafiğini karşılaştırırsak, bunun böyle olmadığı görülüyor. ÖJE lerin sayısı ile artan ısınma etkisi daha az toplam iletkenlik pikini elde etmemizi sağladı. Bu durumda, mesa yüksekliğine göre enerji aralıklarındaki değişimi analiz edemedik.

HB26-IVt22-02



Şekil 3.10. HB26'nin I-V ölçümleri



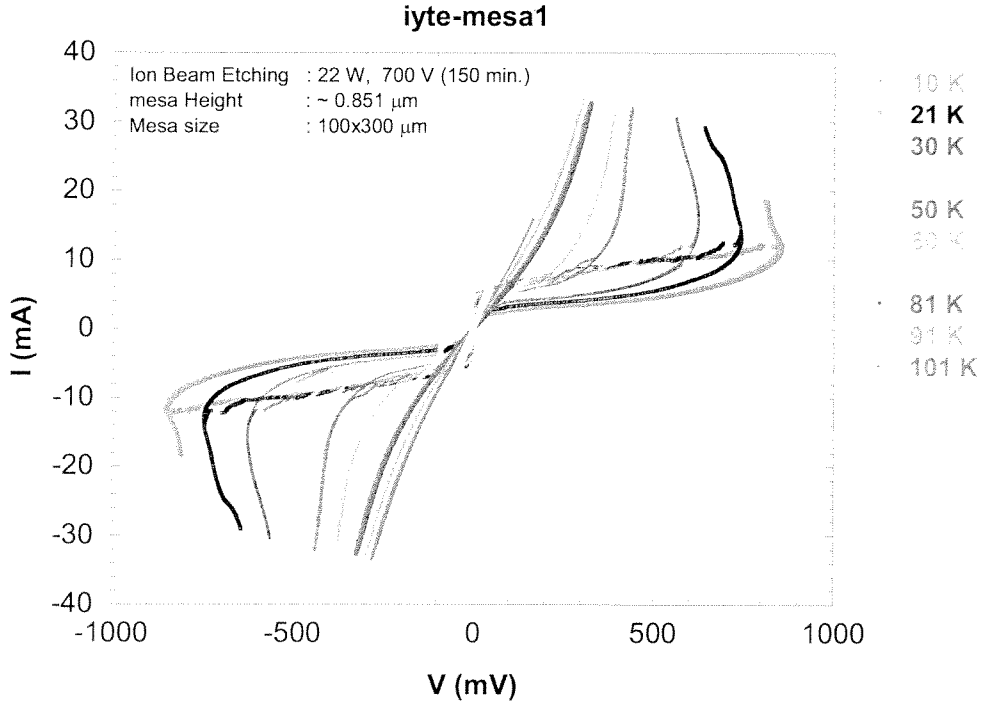
Şekil 3.11. HB28 in I-V ölçümleri

Şekil 3.10.b ve Şekil 3.11.b deki HB26 ve HB28 in detaylı grafikleri Josephson akımını ve açık sanki-parçacık dallarını gösterir. Kritik Josephson akım değerleri 3-4 mA arasındadır. Kritik akım yoğunluğunun düzeni $10A/cm^2$ dir. Bi2212 nin underdoped davranışını gösterir (Inovue ve diğ., 1998). Çalışmamızda küçük kritik akım değeri gereklidir çünkü amacımız mesadan THz ışınması elde etmek ve emisyon üzerindeki ısınma etkisinin tesiri yüksek akımlarda tüm eklemleri senkronizasyonunu yok eder. Bu THz ışınması için underdoped Bi2212 tek kristalini kullanmamızın asıl sebebidir.

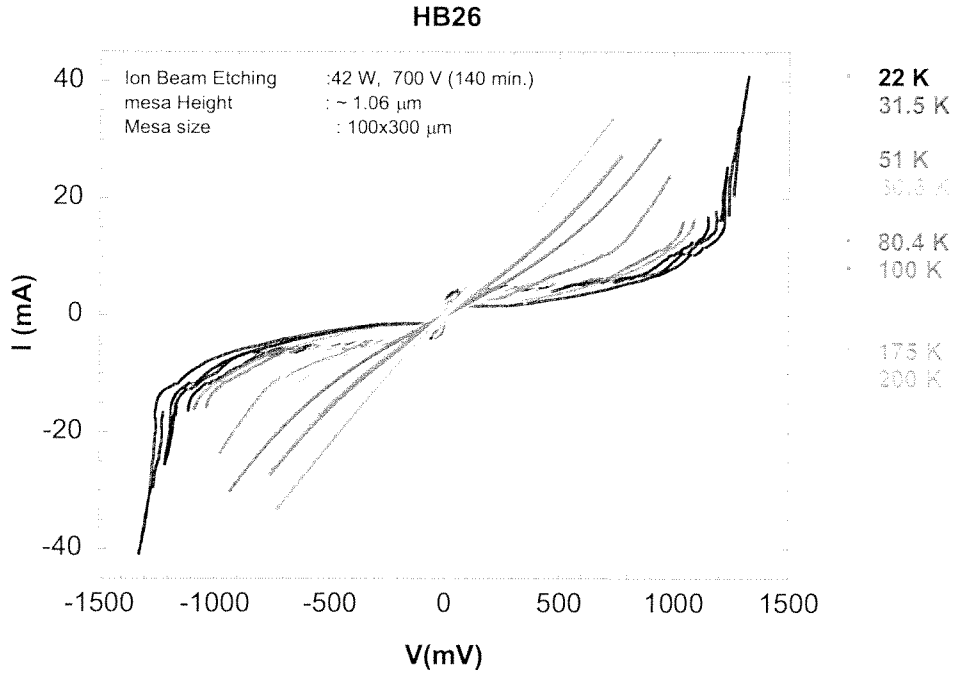
Bi2212 tek kristalinin c eksenini boyunca tünelleme karakteristiklerinin sıcaklık bağımlılığı sabit sıcaklıklarda yapılan I-V ölçüleriyle analiz edildi. Süperiletkenlik halinden normal hale geçişlerdeki tünelleme davranışları Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 te görülebilirler. Bu şekiller sırasıyla iytemesa1, HB26, HB28 ve HB 34 e aitler. Tüm süperiletken I-V verilerinde toplam iletkenlik pik değerinin artan sıcaklıkla azaldığı genelde görülebilir. Bu BCS teorisinin enerji aralığının sıcaklık bağımlılığı ile uyumludur. Bu sebeple, bireysel enerji aralığındaki azalma ÖJE yığınlarının toplam iletkenlik piklerindeki azalmayı gösterir. Tc nin üzerinde, enerji aralığı özelliği ve Josephson akımı gibi diğer Süperiletkenlik davranışları yok olur ama farklı yüksek sıcaklıklarda aynı mesanın I-V ölçümlerinde enteresan sonuçlar var.

Bu, azalan sıcaklıkla c eksenini direncinde artmaya karşılık olan I-V deki doğrusallıktır. Bu süperiletkenliğin başlangıcı olan ve Tc üzerinde çiftlerin doğal olmayan önceden şekillenmesini belirten pseudo aralığını gösterir (Yurgens 2000). Bu, underdoped ve overdoped Bi2212 tek kristallerinde gözlemlendi. Aşırı derecede dope edilmiş Bi2212 nin içinde pseudo aralığının varlığının gözlemlenmesi oldukça zorken, bu aralık özelliği underdoped davranış olarak bilinir (Ozyuzer ve diğ., 2002).

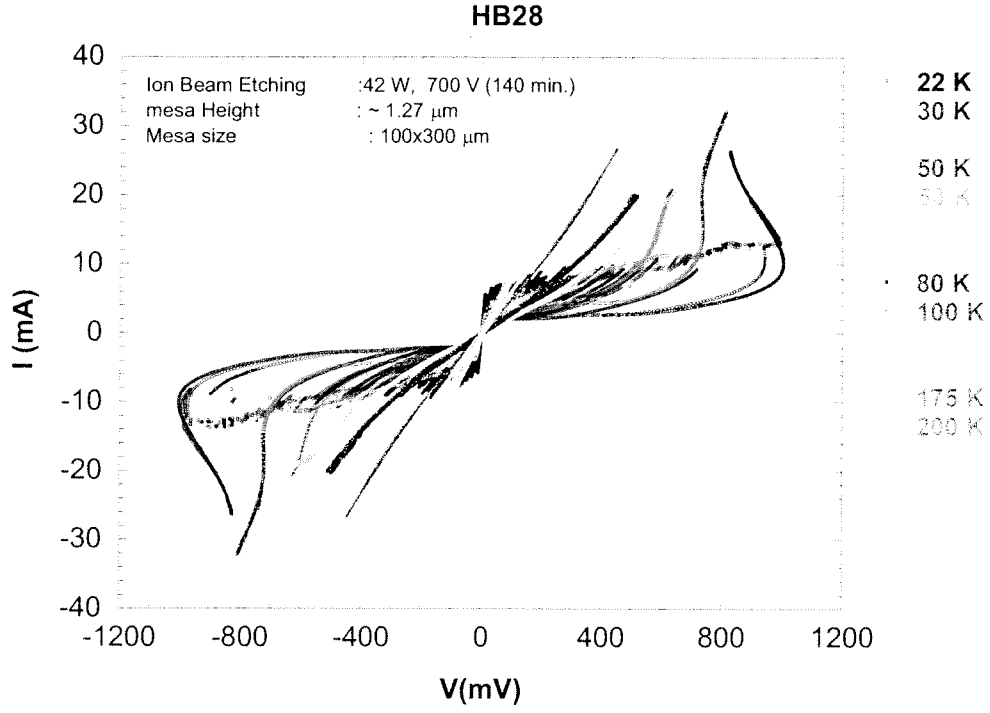
Ayrıca sıcaklık bireysel Tc lerine doğru artarken, daha az sanki-parçacık dalları bu I-V ölçümlerinde gözlemlendi. Enerji aralığındaki azalma dallar arasındaki uzunluğun azalması anlamına geldiğinden dolayı, açıkça daha fazla sanki parçacığın görülmesini önleyebilir. Bu yüzden I-V ölçümlerinde daha fazla kesinlik gerektirir. Tc ye doğru sıcaklık arttıkça, I-V ölçümlerinde histerik davranış azalır ve Tc üstünde normal halde gözden kaybolur.



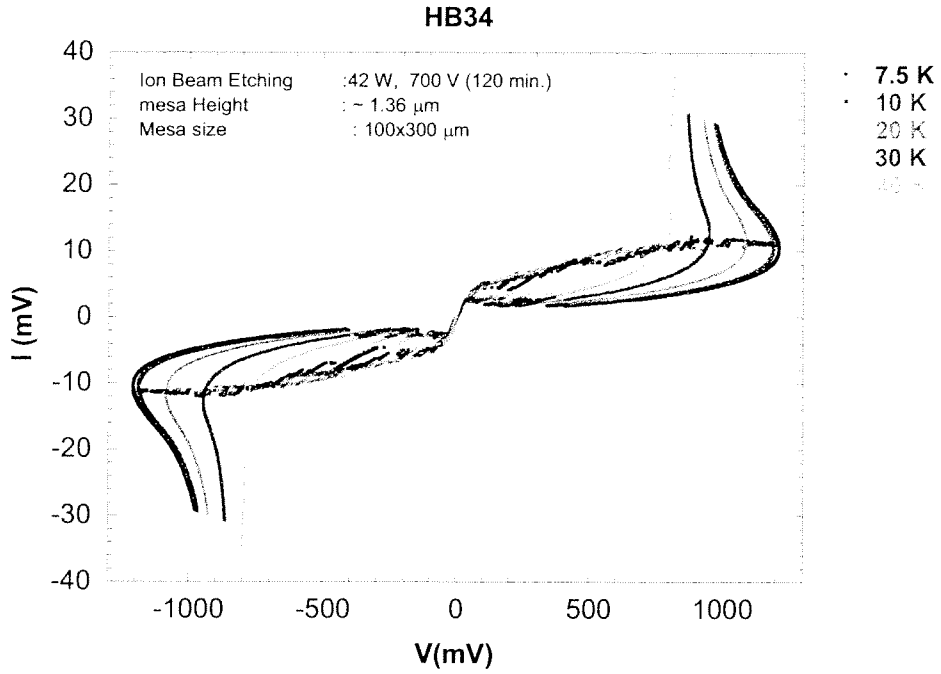
Şekil 3.12. iyte-mesa1 in I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.13. HB26 nın I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi

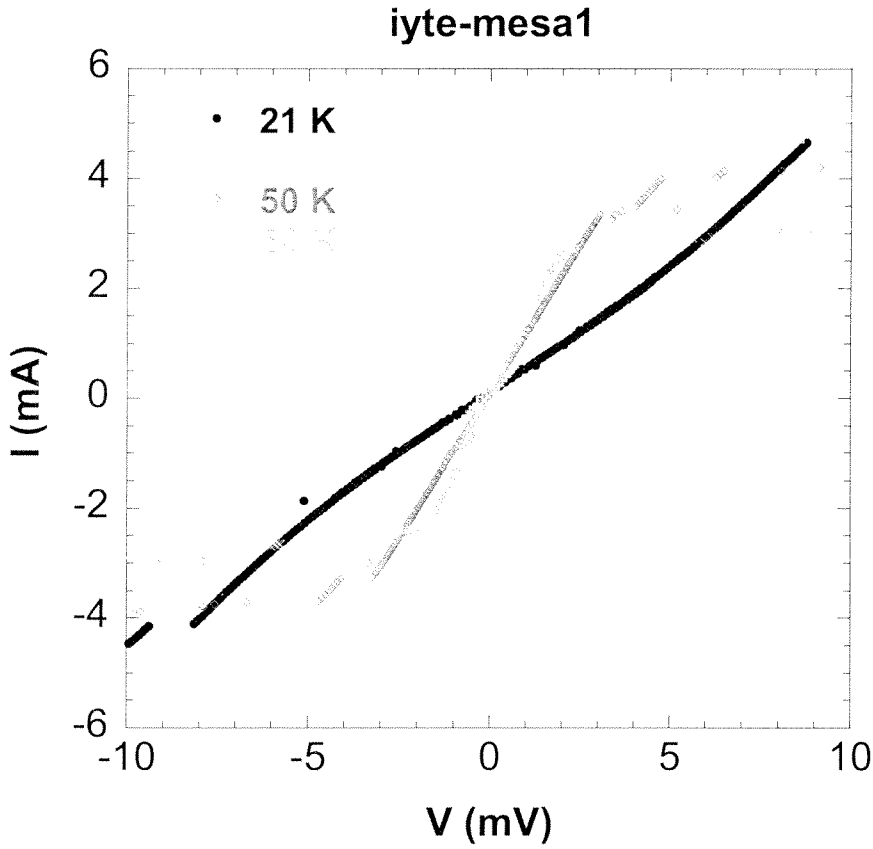


Şekil 3.14. HB28 in I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.15. HB34 ün I-V karakteristiklerinin sıcaklıkla değişimi

Eğer Josephson akımının (I_c) sıcaklık bağımlılığı incelenirse, (Şekil 3.16) de görüldüğü gibi artan sıcaklıkla azalır. O bir eklem için düşük sıcaklıkta sıfır dirençli akım olarak belirtilir. Sıfır ön gerilimi yakınındaki kritik akımın sıcaklık değişimini dikkate alacağız. Ancak mesada ve I_c üzerindeki kontak direncinde yüksek sıcaklığın etkileri sıfır biasın negatif ve pozitif olarak komşuluğundaki I_c ın genişlemesi gibi görülür, bu sebeple Josephson akımının sıfır dirençli davranışından biraz farklıdır. Bir eklem için I-V tünelleme karakteristiklerini araştırmadık, bu yüzden I-V ölçümlerinde tüm ÖJE leri yığınları oluşumu var. Josephson akımı aşılmadığı zaman tüm bu eklemeler süperiletkenlik halindedirler. I_c a ulaştıktan sonra, ilk olarak sanki-parçacık haline karşılık olan dal görünür. Bias akımı artarken, diğer dallar görülür ve her bir ÖJE ne karşılık olan Josephson eklemeleri daldan dala voltaj atlamaları gibi görülürler. I_c ının atlama değerlerinin yüksek ön gerilim boyunca yavaşça arttığı I-V eğrilerinde görülür.



Şekil 3.16. iyte-mesa1 in Josephson kritik akımının sıcaklık değişimi

Sıfır bias yakınında Josephson akımının sıcaklık bağımlılığı üzerindeki gözlemlerimize göre, Şekil 3.16 da açıkça görüldüğü gibi genelde artan sıcaklıklar azalıyor. I-V nin diğer sıcaklık değişimleri iytemesa1 örneğinde olduğu gibi açıkça gözüküyor. Ancak sonuçlarımızda I_c nin zayıf sıcaklık bağımlılığı olduğu söylenebilir. Eğer düşük ve yaklaşık olarak T_c nin altı arasındaki sıcaklıklar karşılaştırılırsa, bu değerler arasındaki farklar küçük olsa bile artan sıcaklık ile azalma eğilimindedirler. I_c lerdeki farkların düşük sıcaklıklara doğru küçüldüğü görülür. Josephson akımının sıcaklık bağımlılığı davranışı BCS teorisindeki geleneksel SIS eklemlerinin ana özelliklerinden farklıdır. BCS teorisi için Josephson akımının sıcaklık bağımlılığını tanıtan Ambegaokar Baratoff (A-B) teorisine göre, sıcaklık yavaşça T_c nin altına azaldıkça yavaşça artar ve düşük sıcaklıklarda sıcaklıkla değişim yaklaşık olarak sabittir (Ambegaokar ve Baratoff 1963). Diğer bir bakıma, I_c nin sıcaklık bağımlılığı ile ilgili birçok

çalışmada bu gözlemlenmedi, deneysel sonuçlar ve geleneksel olmayan SIS eklemelerinin teorik değerleri arasında hemen hemen iyi bir ilişki vardı. Teori YSS lerdense geleneksel (s-dalgası) süperiletkenlerdeki Ic sinin sıcaklık bağımlılığı için daha geçerlidir.

Birçok çalışmada, YSS lerdeki Ic ının sıcaklık değişimi araştırıldı ve bu deneysel sonuçların A-B modeliyle uyumu gözlemlendi. (Suzuki 1999) tarafından yayınlanan makalede, bu davranış Bi2212 deki doping seviyesine göre araştırıldı. Overdopeddan under-doped a doping seviyelerinin değişiminde, sıcaklıkla Ic arasındaki farklar daha küçük olur ve onun değişimi lineerlik eğilimindedir. Diğer bir deyişle, Tc den düşük sıcaklıklara doğru kritik akımlar A-B teorisindeki hesaplanan değerlerden daha küçüktür. I-V sonuçlarımızda underdoped Bi2212 tek kristaline ait kritik akımlar bu teorisinin uygun değerlerinden daha az tahmin edilirler. Ancak başka bir çalışmada, underdoped Bi2212 nin Ic Rn sonuçları azalan doping seviyesiyle arar. T= 0 K için A-B teorisinin tahmini ilişkisi bölüm 2 de denklem 2.5 ile verildi. Diğer bir bakıma under-doped örneklerinde artma, Ic da az bir artmaya rağmen normal hal eklem direncinde baskın artıştan kaynaklanır. d dalgası süperiletken için Josephson eklemelerinin sıcaklık bağımlılığı (Kleiner ve Muller 1999) tarafından araştırıldı.

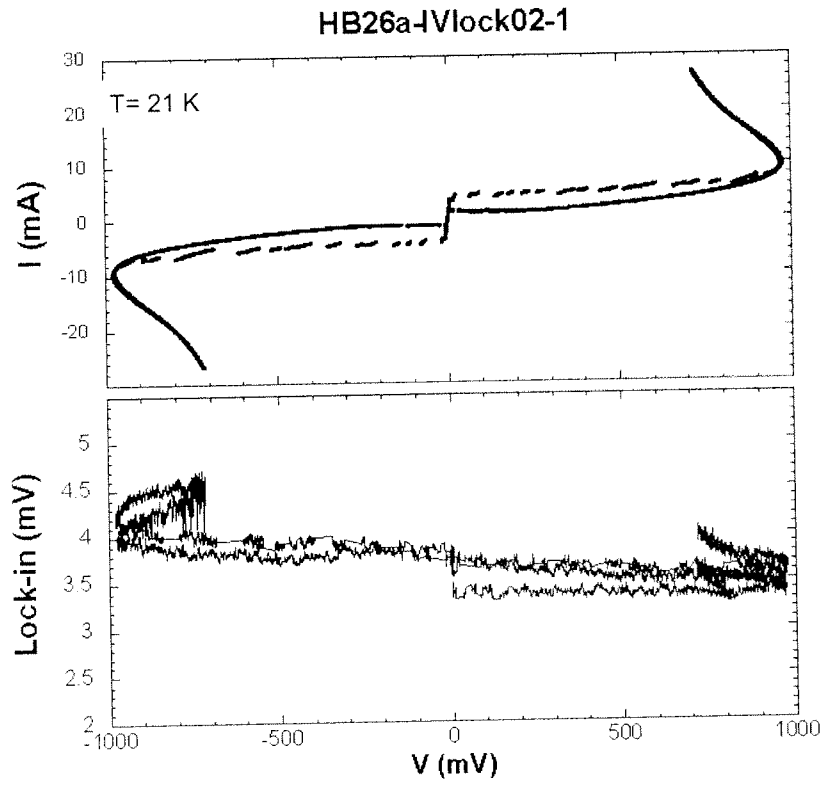
3.3 Mesadan Işımanın Bolometrik Algılanması

Mesanın tüm elektriksel ölçümleri terahertz ışımalarının araştırılması için Bi2212 tek kristal süperiletken malzemesini karakterize etmek içindi. Süperiletken maddenin elektriksel davranışlarının deneysel ölçümleri sadece YSS lerin özelliklerini anlamak için değil ayrıca Bi2212 den ışımaya öngörülerimizi sağlayıp sağlamayacağını araştırmak içindi. THz ışımaları için gerekli mesanın boyutları ve deneysel konfigürasyonlar ikinci bölümde bahsedildi ve THz emisyonundaki yetenekleri (Ozyuzer ve diğ. 2007) tarafından yayınlanan makalede kanıtlandı. THz frekans aralıklarındaki önemli ışımaya sıfır manyetik alanda Bi2212 tek kristali üzerindeki mesanın uzun kenarlarının dışından elde edilir. Bu ÖJE ler boyunca voltaj düşmesinden dolayı titreşen akımdan kaynaklanır ve ac Josephson etkisine dayanır. Radyasyon frekansının voltajla orantılı olmasından dolayı Josephson eklemeleri voltaj-frekans dönüştürücüsü olarak kullanılır (Josephson 1962). Bu yüzden geniş enerji aralıklı süperiletken THz frekans aralığında önemli bir ışımaya sağlar. Bu çalışmada uzun mesalar üretildi çünkü çok sayıda ÖJE ler daha iyi verimli daha fazla ışımaya gücü sağlar.

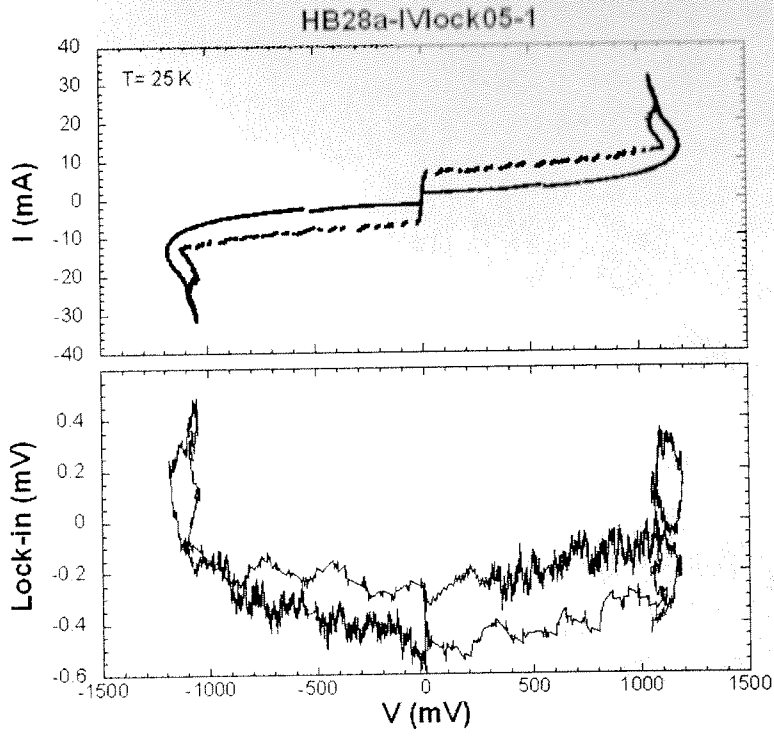
Duran elektromanyetik dalga ile underdoped Bi2212 içindeki tüm ÖJE yığınlarının senkronizasyonu THz ışımaları elde etmek için çok önemlidir, bu yüzden eklemeler arasında güçlü birleşme mesanın boyutları içinde olmalı ve daha özdeş eklemeler gereklidir. Bi2212 nin içinde doğal olarak yığılmış ÖJE ler yapay olarak üretilmiş eklemelerden daha fazla özdeş eklemeler içerirler, bu sebeple Bi2212 süperiletken maddeleri THz ışımaya teknolojisi için daha iyi bir adaydır. Ancak ÖJE lerinde eklemeler parametrelerinin değişimi çok iyi eklemeler yapılarına rağmen meydana gelir. Örneğin, eğer üretilen mesalar düzgün dikdörtgen şekline sahip değilse, mesanın yüksekliği boyunca farklı alanlı eklemeler içerirler. Senkronize titreşimler ayarlanmış Josephson kritik akımlı eklemeler yığınlarının dayandığından dolayı, mesanın c ekseninde boyunca özdeş olmalıdır. Eklemeler parametresindeki diğer değişimler mesanın içinde homojen olmayan ısınmadan meydana gelir. Bi2212 de daha fazla ısınmanın sebebi daha fazla termal iletkenlikleri ve ÖJE lerinin sayısını daha fazla olması. Eklemelerdeki farklı parametreler tüm ÖJE lerin senkronizasyonunu yok ettiği veya emisyon yeteneğini azalttığı vurgulanmıştır. Bu eklemeler parametrelerinin ışımaya üzerindeki etkileri (Koshelev ve Bulaevski 2008) tarafından yayınlanan makalede teorik olarak araştırıldı.

Emisyonla ilgili düşüncemize göre, koherent faz modlarında emisyonun frekansı ayarlanabilir değildir. Emisyonun frekans aralığı mesanın yanal ve düzlemsel boyutlarına dayanır (Ozyuzer ve diğ., 2007). İlk amacımız, düşük sürülüm frekanslı ac akımı Bi2212 tek kristalinin c ekseninde boyunca uygulanırken, boyutları 100x300 µm² olan mesanın uzun köşesinden Si bolometreyle emisyon pikini algılayabilmektir. Bi2212 den yayılan ışımaya çiftlerin tekrar birleşmesinden kaynaklandığından dolayı, azalan ön gerilim sırasında düşük sürülüm frekanslı ac akımı uygulandı. I-V ve mesanın uzun kenarından bolometrik algılama ölçümleri eş zamanlı olarak kaydedildi. Makalede, üretilen emisyonun 50 K lik sıcaklığa kadar algılanabildiği kanıtlandı, bu yüzden ölçümlerimiz Tc nin altında farklı sıcaklıklarda yapıldı. Üretilen mesaların akım voltaj karakteristikli bolometrik algılamaları Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21 de görülebilir. Bolometrik ölçümlerde, Si bolometresinden çıkan sinyalin karşılığı olan y ekseninde lock-in amplifikatörü ile artırılır. Bu emisyonun elde edilip edilmediği ile ilgili yeterli bilgiyi verir.

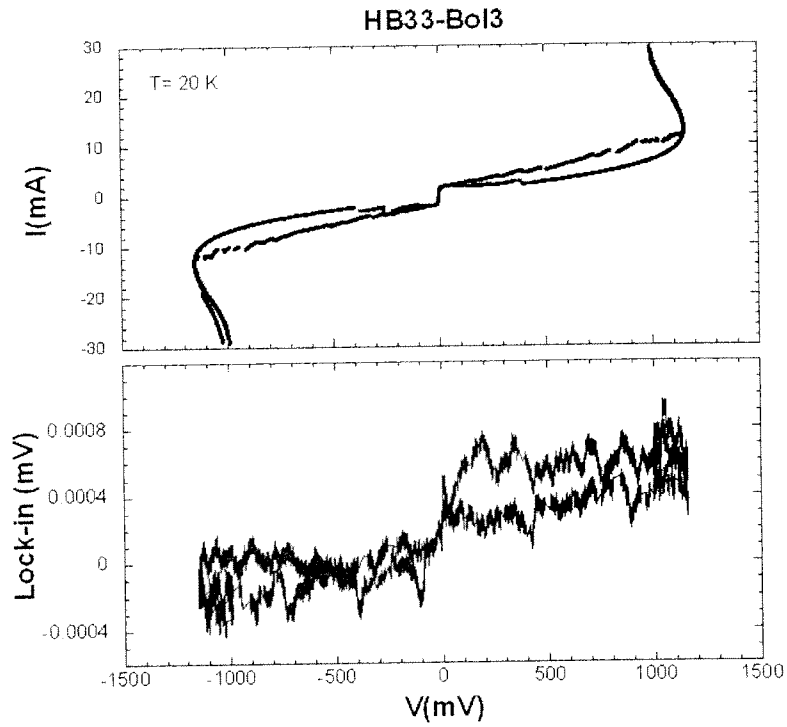
Bu ölçümlerde, emisyonla ilgili düşüncemize göre, ön gerilim azalırken mesanın uzun kenarından ışımaya yayıldığından ve bolometreyle algılandığından dolayı, fonksiyon jeneratörü ile uygulanan ac akımının sürüm frekansı azaltıldı. Süper iletken mesa yapısından emisyonu garantilemek için, bolometrik çıkış pikleri sıfıra doğru azalan ön gerilimin her bir taraması için tekrar üretilebilir olmalıdır. Bu yüzden I-V ölçümleri birçok kez tekrarlandı. Bolometrenin çıkış sinyali üzerindeki sıcaklıktaki değişimlerin etkisine karşı, benzer saymaların background ını azaltmak için sistem termal olarak izole edildi. Background hassas algılama için lock-in ile çıkartıldıktan sonra bolometrik ölçümler I-V ile eş zamanlı olarak kaydedildi. background taki değişimler (Şekil 3.19) da görülür. Bolometremiz termal ışımaya ve yüksek ön gerilimde açıkça görülen uzun ve geniş mesadaki sanki-parçacık tünellemesinden dolayı meydana gelen joule ısınmasına karşı hassastır. I-V deki back-bending ve yüksek ön akımdaki bolometrik ölçümlerde termal ışımaya ısınmanın iyi bir kanıtıdır ve Şekil 3.18 de açıkça görülürler.



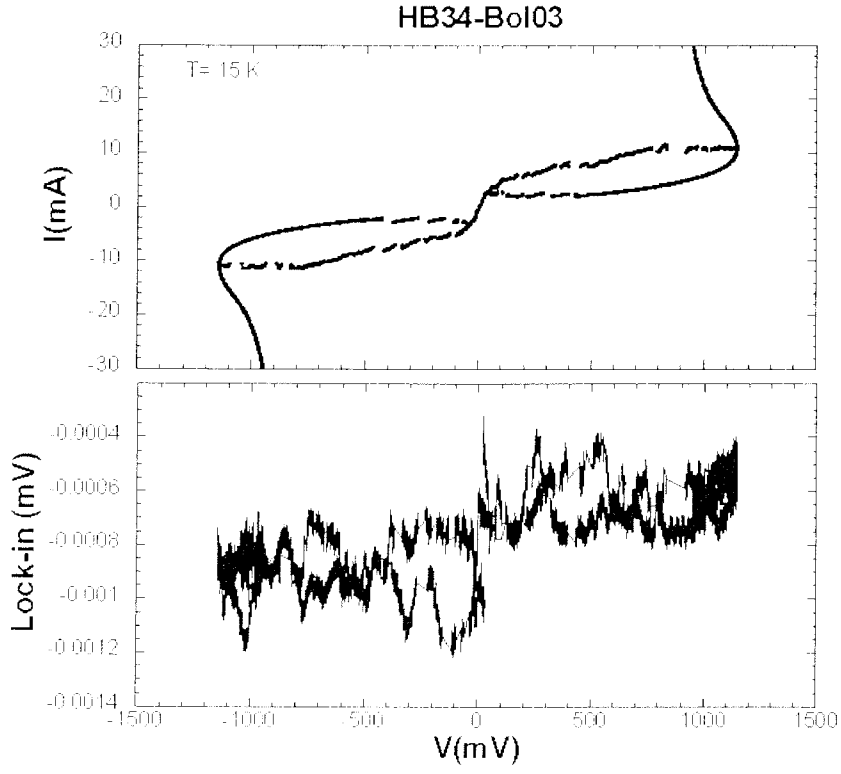
Şekil 3.17. 21 K de HB26 nın Bolometre ve I-V ölçümleri



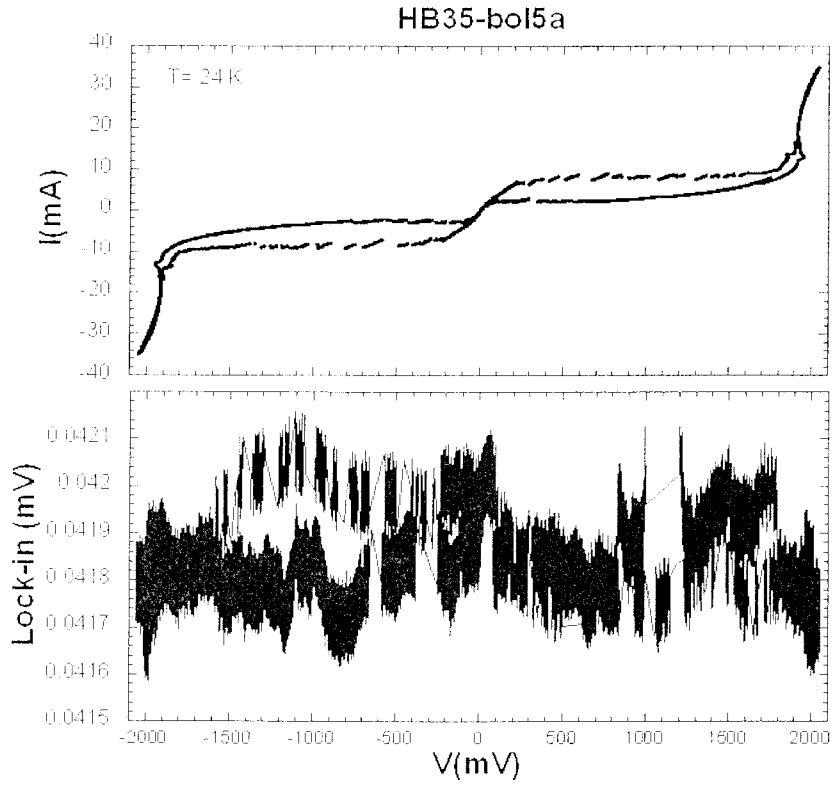
Şekil 3.18. 25 K de HB28 in Bolometre ve I-V ölçümleri



Şekil 3.19. 20 K de HB33 ün Bolometre ve I-V ölçümleri



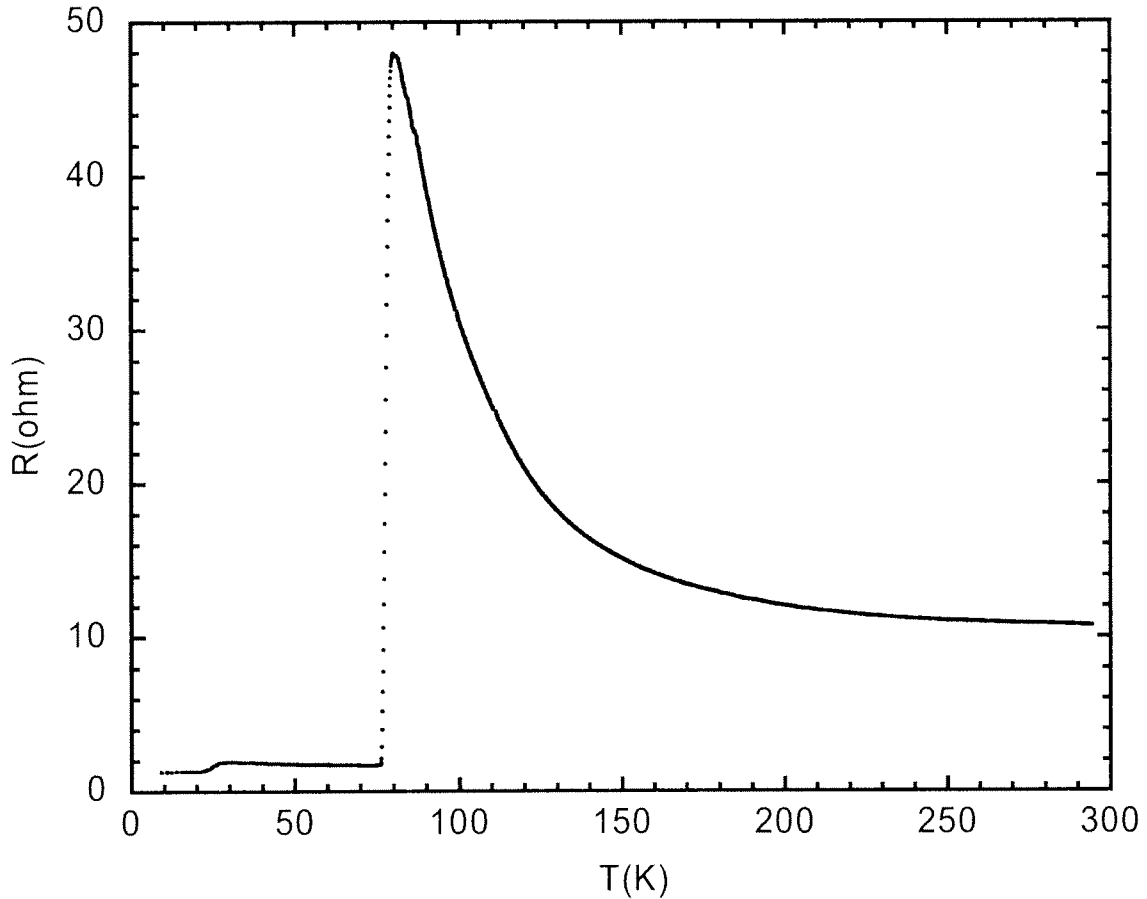
Şekil 3.20. 15 K de HB34 ün Bolometre ve I-V ölçümleri



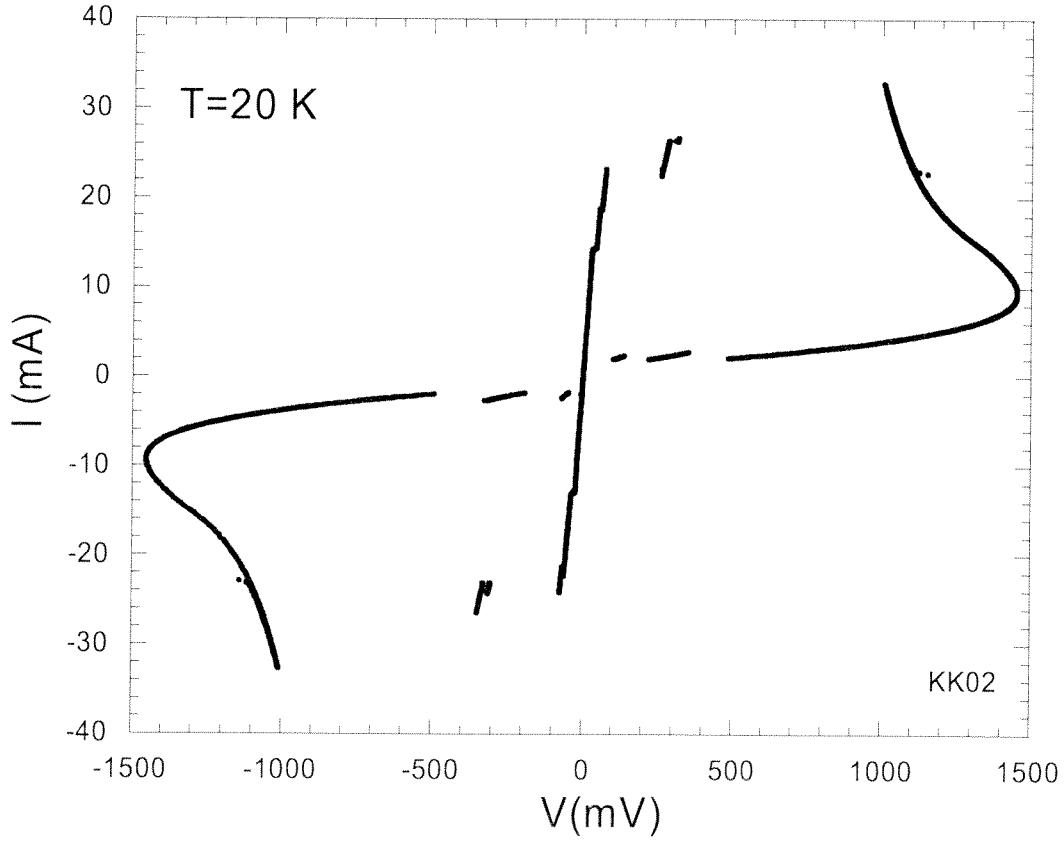
Şekil 3.21. 24 K de HB35 in Bolometre ve I-V ölçümleri

Üsteki figürlerde görüldüğü gibi, bolometre ile algılanabilen emisyon piki görülmektedir. Bolometrik algılamalardaki bazı pikler hesaba katılmamıştır çünkü onlar hem küçük hemde tekrar üretilemiyor. Hiçbir emisyon olmamasının asıl sebebinin düzensiz mesa şekilleri olduğu düşünülüyor. Tablo 3.1 de görüldüğü gibi mesanın sadece yanal açıları düşük değildir ayrıca tüm yanal mesa boyutları boyunca dağılımları homojen değildir. Düşük yanal açı üçgen mesa üretildiğini gösterir ve aşındırma sırasında dönmeyen örnek tutucu kullanıldığından dolayı mesanın kenarlarında farklı yanal açıları elde edilir. Bu mesa yüksekliği boyunca farklı alanlı eklemelere sebep olur çünkü eklem alanları mesanın en üstünden kristal yüzeyine doğru genişler. Bu yüzden eklemeler farklı kritik akım değerlerine sahiptirler. Senkronize eklem yığınları için, eklem parametrelerine göre özdeş olmalıdırlar. Ancak mesa yüksekliği boyunca I_c in düzensizliği tüm ÖJE yığınlarının senkronizasyonunu bozar. Bu yüzden üretim işlemi pürüzsüz dikdörtgen mesalar elde etmek için çok önemlidir. Ayrıca düzensiz mesa şekli olmadan eklem parametrelerini değiştirmemek için kristal yapısında değişimlere sebep olan bazı üretim tekniklerinin kullanımından kaçınıldı. Örneğin, kontak direncini azaltmak için, yüksek sıcaklıklarda tavlama üretim işlemlerinde tercih edilmedi, çünkü O_2 doping seviyesi değiştirilebilir veya tüm eklemelerde homojenlikleri kaybedilebilir. Bazen yüzey yapısının ve Bi2212 tek kristalinin iç yapısının kimyasal işlemlerle değişimi gerçekleşebilir. Çalışmamızda kristal üzerine kaplanmış altın tabaka ile korundular. Aşındırma sırasında kristalin ısınması örnek tutucudaki sürekli akan su soğutmasıyla azaltılmıştır.

Ca-zengin kristallerden ışın elde edememizin çeşitli sebepleri olabilir bunlara ilerde değinilecektir. Japonya'dan Prof. K. Kadowaki'den temin edilen kristallerin şekillendirilmesi ile elde edilen sonuçlar alttaki grafiklerde gösterilmektedir. Japonya'dan gelen bu kristallerin kritik akımlarını azaltmak için argon atmosferinde tavlama yapılmıştır. Fotolitografi ve Argon ion demeti ile şekillendirilmişlerdir. KK02 nolu örnek $100 \times 300 \mu m^2$ alanlı ve $1 \mu m$ yüksekliğindedir. 10 mA akım altındaki direnç-sıcaklık değişimi Şekil 3.22 de görülmektedir. Az oksijen doping (underdoped) yapılmış R-T davranışı gösteren grafikten T_c nin 78 K olduğu görülebilir.

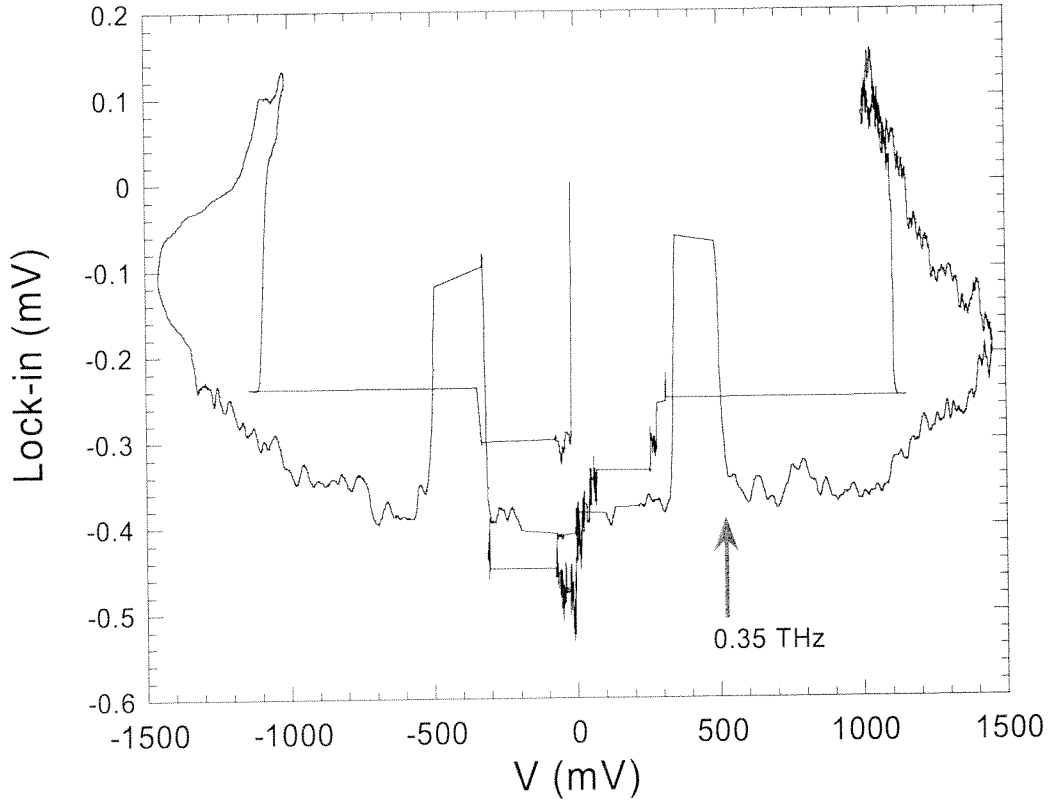


Şekil 3.22. KK02 nolu mesanın R-T ölçümü

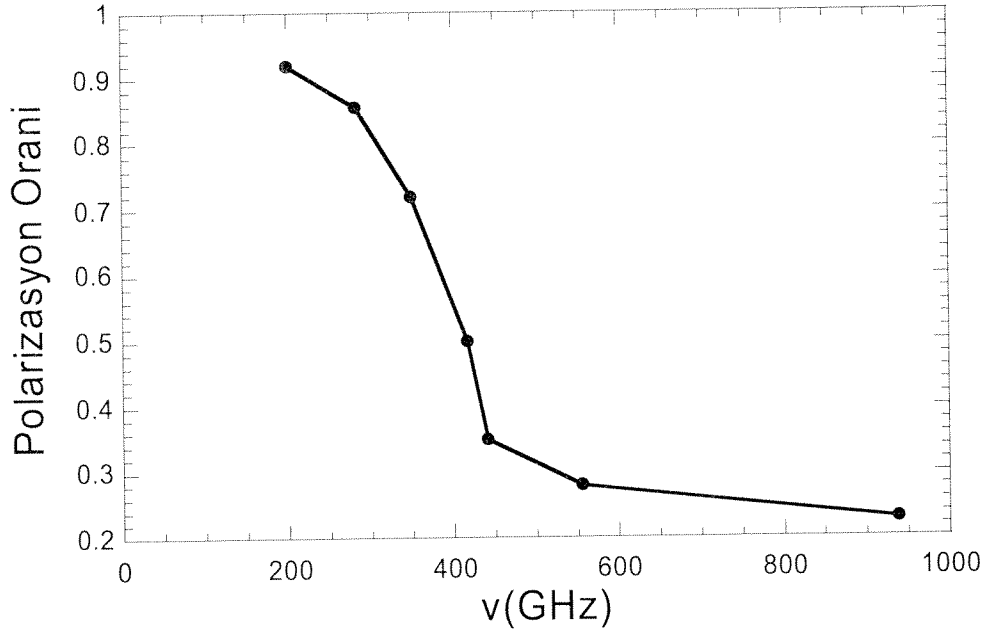


Şekil 3.23. 20 K de KK02 nolu mesanın I-V ölçümü

Az doping yapılmış bu örneğin sabit sıcaklıkta (20 K) akım gerilim karakteristiği Şekil 3.23 de görülmektedir. Ca-zengin kristallerle benzerlik gösteren bu davranışa karşı Şekil 3.24 de bolometre-gerilim sonuçlarında farklılık ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.24 de pozitif ve negatif yüksek beslemelerde backbending de bolometre ısınmayı açık bir şekilde göstermektedir. Geridönüş kolundan besleme azaltıldığında 516 mV civarında bolometre sinyali vermektedir ve bazı katmanların direnç durumundan süperiletken duruma geçmesi dolayısıyla atlama olmaktadır. Aynı ışımaya sinyali negatif beslemeye de görülmektedir ki bu beklenen bir durumdur. Gözlemlenen sinyalin basit ısınmadan mı yoksa terahertz ışımadan mı kaynaklandığını bulmanın yolu terahertz dalga boylarında ölçüm yapabilen FT-IR ile analiz etmektir. Bu imkan şu an işbirliği yaptığımız Japonya grubunda bulunmaktadır. Frekans bulmanın kolay yolu kesim frekansına sahip paralel plakalı filtreler kullanmaktır. Bu amaçla 0.2 THz den 1.0 THz kadar çeşitli kesim frekanslarına sahip filtreler kullanılmıştır. Bu filtreleri kullanabilmek için ortaya çıkan ışımaların polarize olması gerekir. ± 500 mV civarında gözlenen piklerin yüksek frekanslı filtreler ile kesilebilmesi ve polarizasyonun CuO_2 düzlemlerine dik olması, ışımaların ac Josephson olayı olduğunu göstermesini sağlamıştır. Aynı zamanda yüksek beslemedeki bolometre karakteristiğinin filtrelenememesi onların ısınmadan kaynaklandığını göstermesi açısından önemlidir. Şekil 3.25 de filtre çalışmasının sonuçları görülebilmektedir.



Şekil 3.24. 20 K de KK02 nolu mesanın bolometre-besleme ölçümü



Şekil 3.25. 20 K de KK02 nolu mesanın filtre ölçümü

Mesadaki desenkenizasyonun diğ er bir sebebi ısınma sebebidir ve bu Bi2212 için genel bir problemdir. Emisyon ile ilgili düşüncemize göre ısınma probleminden kaçınmak için son zamanlardaki çalışmalarda tercih edilen k  k mesa boyutlarının aksine uzun ve geniş mesalar üretildi, bu yüzden I-V  l mlerimizde  JE yığınlarının senkrenizasyonunu bozduğu düşünülen ısınma etkisi ile karşı karşıya geldik. Ancak, underdoped Bi2212 ile uzun ve geniş mesalar kullanışlı hale getirildi ve koherent THz ışması elde edildi (Ozyuzer ve diğ., 2007).

BÖLÜM 4

TARTIŞMA

Bu çalışmada, Ca katkılı ve stokiyometrik $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ süperiletken tek kristaller üzerine yüksek ve geniş mesalar vakumda kaplama, fotolitografi ve iyon demeti aşındırması teknikleriyle üretildi. Bu işlemlerden sonra, düzlemsel boyutları ve kalınlığı sırasıyla $100 \times 300 \mu\text{m}^2$ ve $1 \mu\text{m}$ olan mesalar elde edildi. Mesaların yanal açısı ve yükseklikleri atomik kuvvet mikroskobu ile analiz edildi. Bi2212 içerisindeki SIS eklemlerinin doğal katmanlı yapılarının tünelleme davranışı R-T ve I-V ölçümleriyle karakterize edildikten sonra, uzun yanal boyutlu mesalardan THz yayılımının bolometrik tespiti yapıldı.

Mesa üretimi için Ca katkılı ve stokiyometrik Bi2212 tek kristaller kullandık. Bu kristaller floating zone yöntemi ile büyütüldü. Bi2212 tek kristal içerisindeki bu mükemmel ÖJE ler YSS lerin tünelleme davranışlarının açıkça görülmesine uygunluk gösterdiler.

Uzun mesa üretimi işlemleri sırasında, ilk olarak, düzgün sıralanmış SIS eklem düzlemlerine sahip kristaller safir altlık üzerine gümüş epoksi ile yapıştırıldı. Yeni yüzeyler elde edebilmek ve daha iyi mesa üretimi için kristaller cleave edildi. Daha sonra, vakum buharlaştırma yöntemi kullanılarak altın katman ($\sim 100 \text{ nm}$) kaplandı. Bu sayede, Bi2212 YSS kristal yapısı bazı kimyasal işlemler sırasında altın katman tarafından korunmuş oldu. Farklı boyut ve yükseklikte doğal üst üste binmiş ÖJE ler elde edebilmek için Bi2212 üzerindeki mesalar fotolitografi ve argon iyon demeti aşındırması teknikleriyle hazırlandı. $100 \times 300 \mu\text{m}^2$ boyutlarında uzun mesalar elde ettik.

Üretim parametrelerimiz Tablo 3.1 de görülmektedir. Bu parametreleri kullanarak, $1 \mu\text{m}$ kalınlığında mesalar üretilebildi. Tablodan, mesaların farklı kenarlarından alınan yükseklik değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülebilir. Mesa yüksekliklerindeki iyi sonuçlara rağmen, yanal düzlemler arasındaki küçük açılar ve kristalin cleave edilmiş yüzeyleri düzgün dikdörtgen mesaların üretilemediğini göstermektedir. Oysa daha iyi özdeş ÖJE ler için yanal açılarının dik açılara yakın olmaları gerekirdi. Dahası mesaların tüm kenarlarından ölçülen açılar, iyon demeti aşındırması işlemi sırasında dönmeyen örnek tutucu yüzünden, birbirlerinden oldukça farklıydı. Örnek tutucuya doğru, 45 derecelik gelme açısına sahip iyon demeti hızlandırıldığından dolayı, mesalarda yanal açısı farklılıkları meydana geldi. Bundan dolayı örnek tutucu iyon demeti aşındırması sırasında döndürülmesi gerektiğini göstermektedir. Dahası, Bi2212 nin under-doped özelliklerinin değişmemesi ve fotorezist katmanın ısınmadan dolayı kaybolmaması için, aşındırma sırasında örnek tutucunun daha iyi soğutulması gerekmekte olduğu bulunmuştur. Mesa üzerinde uzun aşındırma süresine karşı daha iyi korunmuş bölgeler elde etmek için fotorezist tabakası daha kalın olarak desenlendi fakat daha kalın katman mesaların bazı bölgelerindeki yanal boyutlarını perdeler ve daha düşük yanal açılı mesa üretimine neden olduğu görüldü, çünkü aşındırma sırasında mesa yüksekliği daha kalın olurken, fotorezistin daha fazla perdelemesinden dolayı, yanal boyutlar mesanın üstünden kristale doğru uzama eğilimi belirdi. Bundan dolayı, daha iyi soğutma ve örnek tutucuyu döndürmenin yanında, fotorezist katmanları hem daha kalın hem de güçlü olması gerektiği tespit edildi. Son çalışmalarımızda, yukarıda edinilen deneyimler kullanılarak yeni deney düzeneği geliştirilmesi devam etmektedir ve bu konuda TÜBİTAK'tan Hızlı Destek alınmıştır.

Küçük alanlara sahip mesalardan kontak almak zor olduğundan dolayı, ilk olarak, kristal ve mesanın küçük alanı üzerine CaF_2 yalıtkan tabakası ve daha sonra mesanın ve CaF_2 nin üzerine altın şerit vakum buharlaştırma ile kaplandı. Üç nokta kontak yapıldıktan sonra, R-T ve I-V ölçümleri gerçekleştirildi. Deneysel ölçümler, Bölüm 3 de açık bir şekilde verilmiştir.

R-T grafiklerinde, süperiletken durumuna doğru dik faz geçişleri görüldü ve kristallerin geçiş sıcaklığı 64 ve 73 K arasında bulundu. Aynı özellikteki kristaller için Tc deki farklılıklar farklı soğutma sistemleri ve Bi2212 tek kristal içerisindeki farklı oksijen doping derecelerinden kaynaklanmakta olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan under-doped Bi2212 tek kristalin sıcaklığa bağlı direnç davranışı tüm R-T grafiklerinde gözlemlendi. R-T ölçümlerindeki bu davranış direncin 300 K den Tc ye kadar farklı sıcaklıklarda eksponansiyel artışıdır. Bundan başka, Bi2212 tek kristalin Ca la daha fazla katkılanması

düşünülmelidir. Bazı yayınlarda, kritik sıcaklıkların Bi2212 deki aşırı Ca içeriği yüzünden yok edildiği görülmüştür.

Bi2212 tek kristalin katmanlı SIS yapısından dolayı anizotropik elektriksel davranışlara sahip olduğu iyi bilinmektedir. Mesa yüksekliği boyunca yapılan elektriksel ölçümler, tüm ÖJE yığınlarının katkısını içeren karakteristik tünelleme davranışlarını göstermektedir. Bi2212 nin geniş histerisis tünelleme davranışı ve voltaj sıçramaları gibi sanki-parçacık dalları sayısının birçoğu I-V grafiklerinde görülmektedir. Bunun yanında, joule ısınmasından dolayı hesaplanandan daha az sayıda dal görülmüştür. Ayrıca bu yüksek akımlarda geri eğilme (negatif direnç) ve tüm ÖJE lerin toplam iletkenlik pikinde düşüslere neden olduğu bulunmuştur.

Sıcaklık T_c ye doğru artarken, toplam-aralık voltajı ve histerisis davranışlardaki düşüş, sıcaklık değişimli I-V grafiklerinde açıkça görülmektedir. Mesaların kritik akım yoğunluğu 100 A/cm^2 mertebesinde bulundu. Bu değer under-doped bölgedeki Bi2212 nin kritik akım yoğunluğu ile uyumludur ve yüksek oksijen içerikli Bi2212 kristallerin J_c sinden daha küçüktür. Bunun Bi2212 lerdeki ısınma sorununu önemli ölçüde çözeceği düşünülmektedir. Çünkü onun düşük kritik akımı tüm üst üste binmiş ÖJE lerin toplam-aralık voltajına kadar erişilebilir ve daha yüksek ön akımlara izin vermez. Bundan dolayı kristalde daha az ısınma meydana gelir. Dahası, Josephson kritik akımlarının sıcaklık değişimlerinin sıcaklıkla düşme eğiliminde olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte, I_c lerin sıcaklık değişim mertebeleri oldukça farklı sıcaklıklarda küçüktür ve farklar sıcaklık farklarıyla daha da büyüür.

Bolometrik ölçümlerimiz, Bi2212 süperiletkeninden yayılımı belirlemek için yapıldı. Ca zengin kristallerde THz ışına pikine ulaşılamadı. THz ışına ilgili ön gerilim voltajı Bi2212 nin c-ekseni boyunca düşerken yüksek mesaların uzun kenarından ışına yayılması gerekirdi. Bundan dolayı, I-V ve bolometre ölçümleri eş zamanlı olarak kaydedildi. Tüm bolometrik ölçümler farklı sıcaklıklarda gerçekleştirildikten sonra, eklem alanı açısından özdeş olmayan üst üste binmiş ÖJE ler nedeniyle, ışına pikleri gözlenemedi. Japonyadan sağlanan stokiyometrik Bi2212 den üretilen mesalardan güçlü THz ışınması elde edildi. Bu çalışma Science dergisinde basıldı ve aynı sayıda çalışmanın önemini anlatan iki sayfalık makale ÖJE'ni ilk defa gözleyen Prof. R. Kleiner tarafından yayınlandı. Makale basılı henüz 8 ay olmasına rağmen 6 atıf almıştır.

Üretilen mesaların yanal boyutlarıncı alınan AFM ölçümlerinden yanal açılar çok düşük olduğu bilinmektedir, bundan dolayı mesa yüksekliği boyunca eklem alanları dereceli olarak değiştirildi. Farklı eklem parametreleri tüm ÖJE lerin eşzamanlılığını yok ettiğinden ya da yayılım yeteneğini azalttığından dolayı mesadaki üst üste binmiş tüm eklemleri eş zamanlı hale getirmek için, mesalar özdeş yanal alanlara sahip olmalı ve diğer eklem parametreleri aynı olmalı görüşüne varıldı. Bundan dolayı, daha düzgün ve dikdörtgen şeklinde mesalar elde etmek için üretim işlemlerinde gelişmeler gerekmektedir. İleride, deneysel işlemler daha düzgün dikdörtgen mesalar üretmek için geliştirilecektir. Bu yeni üretilen mesalardan terahertz ışına piklerini elde ettikten sonra, gücünü ve frekans aralığını belirlemek için radyasyon karakterize edilecektir. Daha yüksek frekansta ve güçte THz radyasyonu üretebilmek için, daha yüksek mesaların üretilmesi ve mesaların genişliğinin azaltılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Ambegaokar, V. ve Baratoff, A., High temperature superconductors: Processing and science, *Physical Review Letters* 10, 486, (1963).
- Akimitsu, J., Yamazaki, A., Sawa, H. ve Fujiki, H., Superconductivity in the Bi-Sr-Cu-O system, *Japanese Journal of Applied Physics* 26, 2080, (1987).
- Bae, M.H. ve Lee, H.C., Progress in THz generation using Josephson fluxon dynamics in intrinsic junctions, *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Transactions of Electronics*, E89, 411, (2006).
- Bae, M.H., Lee, H.C. ve Choi, J.H., Josephson vortex-flow terahertz emission in layered high- T_c superconducting single crystals, *Physical Review Letters* 98(4), 27002, (2007).
- Bardeen, J., Cooper, L.N. ve Schrieffer, J.R., The Theory of Superconductivity, *Physical Review Letters* 108, 1175, (1957).
- Batov, I.E., Jin, X.Y., Shitov, S.V., Koval, Y., Muller, P. ve Ustinov A.V., Detection of 0.5 THz radiation from intrinsic $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ Josephson junctions, *Applied Physics Letters*, 88, 262504, (2006).
- Bednorz, J.G. ve Müller, K.A., Possible high- T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system, *Zeitschrift Physics*, B 64, 189, (1986).
- Bourdillon, A. ve Tan Bourdillon, N.X., *High temperature superconductor: Processing and Science*, Academic Press INC, New York, (1994).
- Buckel, W. ve Kleiner, R., *Superconductivity Fundamentals and Application*, Tübingen: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA Weinheim, (2004).
- Chu, C.W., Bechtold, J., Gao, L., Hor, P.H., Huan, Z.J., Meng, R.L., Sun, Y.Y., Wang, Y.Q. ve Xue Y.Y., Superconducting up to 114 K in the Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O compound system without rare-earth elements, *Physical Review Letters*, 60, 941, (1998).
- Duzer, T. V. ve Turner, C.W., *Principles of superconductive devices and circuits*, Prentice-Hall, London, (1999).
- Feigelson, R.S., Gazit, D., Fork, D.K. ve Geballe, T.H., Superconducting Bi-Ca-Sr-Cu-O fibers grown by the laser-heated pedestal growth methods, *Science*, 249, 1642, (1988).

- Ferguson, B. ve Zhang, X.C., Materials for terahertz science and technology, *Nature Materials*, 1, 26, (2002).
- Giaver, I., Energy gap in superconductor measured by electron tunneling, *Physical Review Letters*, 5, 147, (1960).
- Ginzburg, V.L. ve Landau, L.D., On the theory of superconductivity, *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 20, 1064, (1950).
- Gor'kov, L. P., Microscopic derivation of the Ginzburg--Landau equations in the theory of superconductivity, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 36, 1918, (1959).
- Hazen, R.M., Finger, L.W., Angel, R.J., Prewitt, C.T., Ross, N.L., Hadidiacos, C.G., Heaney, P.J., Veblen, D.R., Shenh, Z.Z., El Ali, A. ve Hermann, A.M., 100 K superconducting phases in the TI-Ca-Ba-Cu-O system, *Physical Review Letters*, 60, 1657, (1988).
- Inoue, M., Yoshida, M., Tsuge, M., Senzaki, T., Sugihara, Y., Otsuka, J., Ohbayashi, K., Fujimaki, A. ve Hayakawa, H., A study on the control of the material properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ thin films for intrinsic Josephson junctions, *Physica C*, 307, 221, (1998).
- Jin, S., Tiefel, T.H., Sherwood, R.C., Van Dover, R.B., Davis, M.E., Kammlott, G.W. ve Fastnacht R.A., Melt-textured growth of polycrystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ with high transport J_c at 77 K, *Physical Review B*, 37, 7850, (1988).
- Josephson, B.D., Possible new effects in superconductive tunneling, *Physics Letter*, 1, 251-253, (1962).
- Kadowaki, K., Kakeya, I., Yamamoto, T., Yamazaki, T., Kohri M. ve Kubo Y., Dynamical properties of Josephson vortices in mesoscopic intrinsic Josephson junctions in single crystalline $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$, *Physica C*, 111, 437-438, (2006).
- Kendziora, C., Martin, M.C., Hartge, J. ve Mihaly, L., Wide-range oxygen doping of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$, *Physical Review Letters*, 48, 48, (1993).
- Kleiner R., Steinmeyer, F., Kunkel, G. ve Müller, P., Intrinsic Josephson effects in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ single crystals, *Physical Review Letters*, 68, 2394, (1992).
- Kleiner, R., Filling the terahertz gap, *Science*, 318, 1254, (2007).
- Köhler, R., Tredicucci, A. ve Beltram, F., Beere, H.E., Linfield, E.H., Davies, A.G., Ritchie, D.A., Iotti, R.C. ve Rossi, F., Terahertz semiconductor-hetero-structure laser, *Nature*, 417, 156, (2002).

- Krasnov, V.M., Quantum cascade phenomenon in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ single crystal, *Physical Review Letters*, 97, 257003, (2006).
- Kurter, C., Fabrication of mesa structures on superconducting $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ single crystals, (Yüksek Lisans Tezi), *Izmir Institute of Technology*, (2005).
- Maeda, H., Tanaka, T., Fukutomi, M. and Asano, T., A New high- T_c oxide superconductor without a rare earth element, *Japanese Journal of Applied Physics*, 27, L209, (1988).
- Martin, Y., Williams, C.C. ve Wickramasinghe, H.K., Atomic force microscope-force mapping and profiling on a sub 100-Å scale, *Journal of Applied Physics*, 61, 4723, (1987).
- Matsui, Y., Maeda, H., Tanaka, Y. ve Horiuchi, S., High-resolution electron microscopy of modulated structure in the new high- T_c superconductors of the Bi-Sr-Ca-Cu-O system, *Japanese Journal of Applied Physics*, 27, L361, (1988).
- Michishita, K., Ikuhara, Y.H. ve Kubo, Y., Bi-based superconductor fabricated by floating-zone method: Bismuth-based high-temperature Superconductors, ed: Maeda Hiroshi ve Kazumasa Togano, Marcer Dekker, New York, (1996).
- Miyakawa, N., Guptasarma, P., Zasadzinski, J.F., Hink, D.G. and Gray, K.E., Strong dependence of the Superconducting gap on oxygen doping from tunneling measurements on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$, *Physical Review Letters*, 80, 157, (1998).
- Miyakawa, N., Zasadzinski, J.F., Ozyuzer, L., Guptasarma, P., Hink, D. G., Kendziora, C. ve Gray, K.E., Predominantly superconducting origin of large energy gaps in under-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ from tunneling spectroscopy, *Physical Review Letters*, 83, 1018, (1999).
- Ozdemir M., Spin polarized tunneling spectroscopy of intercalated $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$, (Yüksek Lisans Tezi), *Izmir Institute of Technology*, (2006).
- Ohhassi, K., Horiuchi, T., Nasu, S. ve Sugimata, E., Synthesis and properties of Hgl_2 intercalation of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ superconductor, *Journal of Physics and Chemistry of solids*, 65, 603, (2004).
- Ozyuzer, L., Zasadzinski, J.F., Kendziora, C. ve Gray, K.E., Quasiparticle and Josephson tunneling of overdoped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ single crystal, *Physical Review B*, 61, 3629, (2000).
- Ozyuzer, L., Zasadzinski, J.F., Gray, K.E., Kendziora, C. ve Miyakawa, N., Absence of pseudo-gap in heavily over-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ from tunneling spectroscopy of break junction, *Europhysics Letters*, 58, 589, (2002).

- Ozyuzer, L., Zasadzinski, J.F., Gray, K.E., Hinks, D.G. ve Miyakawa, N., Probing the phase diagram of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ with tunneling spectroscopy, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 13, 89, (2003).
- Ozyuzer, L., Kurter, C., Zasadzinski, J.F., Gray, K.E., Hinks D.G. ve Miyakawa, N., Comparison of intrinsic Josephson junction and SIS tunneling spectroscopy of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 15, 181-184, (2005).
- Ozyuzer, L., Koshelev, A.E., Kurter, C., Gopalsami, N., Li, Q., Tachiki M., K., T., Tamamoto, Minami, H., Yamaguchi, H., Tachiki, T., Gray, K.E., Kwok, W.K. ve Welp, U., Emission of coherent THz radiation from superconductors, *Science*, 318, 1291, (2007).
- Revscolevschi, A. ve Jegoudez, J., Growth of large high- T_c single crystals by the floating zone method: A review, *Progress in Materials Science*, 42, 321, (1997).
- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J.D. ve Ott, H.R., Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O System, *Nature*, 363, 15, (1993).
- Schmidt, V.V., The Physics of Superconductors, ed: Müller P. ve Ustinov A. V., Springer- Verlag , Berlin, (1997).
- Silva, E., Fastampa, R., Giuru, M. ve Sarti, S., Normal state resistivity of BSCCO single crystal description with a two barrier models, *Physica C*, 329, 388-399, (2003).
- Simsek, Y., Temperature Dependence of Tunneling in Intrinsic Josephson Junctions of High Temperature Superconductors, (Yüksek Lisans Tezi), *Izmir Institute of Technology*, (2008).
- Suzuki, M., Watanabe, T. ve Matsuda A., Short pulse tunneling measurements of intrinsic Josephson junction in Bi-Sr-Ca-O, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 9, 4507, (1999).
- Suzuki, M., Characteristic temperature dependence of the maximum Josephson current in Bi-Si-Ca-Cu-O intrinsic junction, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 9, 4511, (1999).
- Tachiki, M., Koyama, T. ve Takahashi S., Electromagnetic Phenomena Related to a low frequency plasma in cuprate superconductors, *Physical Review B*, 50, 7065, (1994).
- Tachiki, M., Lizuka, M., Minami, K., Tejima, S. ve H. Nakamura. Emission of continuous terahertz waves by high- T_c superconductors, *Physica C*, 8, 426-431, (2005).

- Tanabe, K., Hidaka, Y., Karimoto, S. ve Suzuki, M., Observation of both pair and quasiparticle tunneling in intrinsic junction stacks fabricated on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ single crystals, *Physical Review B*, 53, 9348, (1996).
- Ting-Wei, L., Studies of crystal growth, oxygen diffusion, flux pinning and flux lattice melting on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ single crystals, (Ph.D), *Leiden University Kammerlingh Onnes Laboratory and Van der Waals-Zeeman Laboratory*, (1995).
- Tokita, H., Asano, H. ve Uwe H., Magnetic susceptibility of the normal state in oxygen-controlled Ca-rich Bi-2212 cuprate, *Physica C*, 166, 357-360, (2001).
- Ulucan, S., Growth of magnetron sputtered superconductor MgB2 thin films, (Yüksek Lisans Tezi), *Izmir Institute of Technology*, (2006).
- Yurgens, A., Winkler, D., Zavaritski, N.V. ve Claeson, T., Strong temperature dependence of the c-axis gap parameter of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ intrinsic Josephson junctions, *Physical Review B*, 53, R8887, (1996).
- Yurgens, A., Winkler, D., Zavaritski, N.V. ve Claeson, T., The c-axis gap parameter and resistivity of an individual intrinsic tunnel junction in Bi-2212 single crystals, *Physica C*, 293, 181, (1997).
- Yurgens, A., Intrinsic Josephson junctions: Recent developments, *Superconductor Science and Technology*, 13, R85-100, (2000).
- Wesche, Rainer, *High Temperature Superconductor Materials, Properties, and Application*, Academic Publishers, Boston, (1998).
- Won, H. ve Maki, H., d-wave Superconductor as a Model of High- T_c Superconductors *Physical Review B*, 49, 1397, (1994).
- Wu, M.K., Ashburn, J.R., Torng, C.J., Hor, P.H., Meng, R.L., Gao, L., , Huang, Z.J., Wang Y.Q. ve Chu C.W., Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-B-C-O compound system at ambient pressure, *Physical Review Letters*, 58, 908, (1987).
- Zasadzinski, J., *Tunneling spectroscopy of conventional and unconventional superconductors: The Physics of Superconductor*, ed: Bennemann, K. H. ve Ketterson, J., Springer, New York, (2002).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 106T053
Proje Başlığı: Üstüniletkenlerdeki Josephson Girdap Akısının Terahertz Işıması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Lütfi Özyüzer, Doç. Dr. Salih Okur, Yrd. Doç. Dr. Süleyman Tarı, Arş. Gör. Yılmaz Şimşek, Arş. Gör. Savaş Ulucan, Mehtap Özdemir, Hasan Köseoğlu.
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü, Urla 35430 İzmir
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01/07/2006 – 01/07/2008
Öz (en çok 70 kelime) Yüksek sıcaklık üstüniletkenlerinin mesa haline getirilen özgül Josephson eklemlerinin frekansı ayarlanabilir terahertz titreştiricileri yapılabilmektedir. Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _{8+d} (Bi-2212) için kritik sıcaklık 95 K ve tek kristal olarak kusursuz yapıda büyük boyutlarda büyütülebilmektedir. Bi-2212 fotolitografi ve iyon demeti yöntemleri ile mesa haline getirilip ve c-ekseni boyunca akım sürülüp I-V karakteristikleri elde edilmiştir. Bi-2212'de terahertz radyasyon yaymasına olanak sağlayacak rezonans koşulunun yaratılması sağlanmıştır. Bolometrik ölçümlerle tasarlanan mesa dalga üreticinin 0.35 THz'de ışımaya yaptığı bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Yüksek Sıcaklık Üstüniletkenler; Tünelleme Spektroskopisi; Josephson Eklemleri; Josephson Örgüsü, Terahertz ışımaya, Enerji Aralığı. High Temperature Superconductivity; Tunneling Spectroscopy; Josephson Junctions; Josephson Lattice, Terahertz radiation, Energy Gap.
Projeden Yapılan Yayınlar: 1) "Emission of coherent THz radiation from superconductors", L. Ozyuzer, A. E. Koshelev, C. Kurter, N. Gopalsami, Q. Li, M. Tachiki, K. Kadowaki, T. Yamamoto, H. Minami, H. Yamaguchi, T. Tachiki, K. E. Gray, W.-K. Kwok, U. Welp, Science 318 , 1291 (2007). 2) "Spin Polarized Current Injection Through HgBr ₂ Intercalated Bi ₂ 212 Intrinsic Josephson Junctions", L. Ozyuzer, C. Kurter, M. Ozdemir, J. F. Zasadzinski, K. E. Gray, D. G. Hinks, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 17 , 577 (2007). 3) "Self-Heating Effect in Intrinsic Tunneling Spectroscopy of HgBr ₂ Intercalated Bi _{2.1} Sr _{1.4} Ca _{1.5} Cu ₂ O _{8+d} Single Crystals", C. Kurter, L. Ozyuzer, J. F. Zasadzinski, D. G. Hinks, K. E. Gray, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 17 , 2976 (2007).

- 4) "Spin polarized tunneling spectroscopy of intercalated $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ " Mehtap Özdemir M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2006)
- 5) "Growth of magnetron sputtered superconductor MgB_2 thin films" Savaş Ulucan M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2006)
- 6) "Temperature Dependence of Tunneling in Intrinsic Josephson Junctions of High Temperature Superconductors", Yılmaz Şimşek M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2008)

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje No: 106T053
Proje Başlığı: Üstüniletkenlerdeki Josephson Girdap Akısının Terahertz Işıması
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Lütfi Özyüzer, Doç. Dr. Salih Okur, Yrd. Doç. Dr. Süleyman Tari, Arş. Gör. Yılmaz Şimşek, Arş. Gör. Savaş Ulucan, Mehtap Özdemir, Hasan Köseoğlu.
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü, Urla 35430 İzmir
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01/07/2006 – 01/07/2008
Öz (en çok 70 kelime) Yüksek sıcaklık üstüniletkenlerinin mesa haline getirilen özgün Josephson eklemlerinin frekansı ayarlanabilir terahertz titreştiricileri yapılabilmektedir. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ (Bi-2212) için kritik sıcaklık 95 K ve tek kristal olarak kusursuz yapıda büyük boyutlarda büyütülebilmektedir. Bi-2212 fotolitografi ve iyon demeti yöntemleri ile mesa haline getirilip ve c-ekseni boyunca akım sürülüp I-V karakteristikleri elde edilmiştir. Bi-2212'de terahertz radyasyon yaymasına olanak sağlayacak rezonans koşulunun yaratılması sağlanmıştır. Bolometrik ölçümlerle tasarlanan mesa dalga üreticinin 0.35 THz'de ışımaya yaptığı bulunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Yüksek Sıcaklık Üstüniletkenler; Tünelleme Spektroskopisi; Josephson Eklemleri; Josephson Örgüsü, Terahertz ışımaya, Enerji Aralığı. High Temperature Superconductivity; Tunneling Spectroscopy; Josephson Junctions; Josephson Lattice, Terahertz radiation, Energy Gap.
Projeden Yapılan Yayınlar: 1) "Emission of coherent THz radiation from superconductors", L. Ozyuzer , A. E. Koshelev, C. Kurter, N. Gopalsami, Q. Li, M. Tachiki, K. Kadowaki, T. Yamamoto, H. Minami, H. Yamaguchi, T. Tachiki, K. E. Gray, W.-K. Kwok, U. Welp, Science 318 , 1291 (2007). 2) "Spin Polarized Current Injection Through HgBr ₂ Intercalated Bi ₂ 212 Intrinsic Josephson Junctions", L. Ozyuzer , C. Kurter, M. Ozdemir, J. F. Zasadzinski, K. E. Gray, D. G. Hinks, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 17 , 577 (2007). 3) "Self-Heating Effect in Intrinsic Tunneling Spectroscopy of HgBr ₂ Intercalated Bi _{2.1} Sr _{1.4} Ca _{1.5} Cu ₂ O _{8+d} Single Crystals", C. Kurter, L. Ozyuzer , J. F. Zasadzinski, D. G. Hinks, K. E. Gray, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 17 , 2976 (2007).

- 4) "Spin polarized tunneling spectroscopy of intercalated $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ " Mehtap Özdemir M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2006)
- 5) "Growth of magnetron sputtered superconductor MgB_2 thin films" Savaş Ulucan M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2006)
- 6) "Temperature Dependence of Tunneling in Intrinsic Josephson Junctions of High Temperature Superconductors", Yılmaz Şimşek M.S. tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (2008)