

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mg KATKILI Bi-2223 SÜPERİLETKENLERİN
KARAKTERİZASYONU

Oya ÖZKAN

Mart, 2010

İZMİR

Mg KATKILI Bi-2223 SÜPERİLETKENLERİN KARAKTERİZASYONU

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Oya ÖZKAN

Mart, 2010

İzmir

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OYA ÖZKAN tarafından **PROF. DR. KEMAL KOCABAŞ** yönetiminde hazırlanan “**Mg KATKILI Bi-2223 SÜPERİLETKENLERİN KARAKTERİZASYONU**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Kemal KOCABAŞ

Danışman

.....
Yrd. Doç. Dr. Muhittin AYGÜN

Jüri Üyesi

.....
Doç.Dr. Mustafa Yavuz ERGÜN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez hazırlama süresince bana destek olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve beni en doğru şekilde yönlendiren danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Kemal KOCABAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

XRD ölçümlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği bölümünden Prof. Dr. Filiz ERCAN'a çok teşekkür ederim. SEM ve direç sıcaklık ölçümlerinin yapılmasında bize her türlü imkanı sağlayan İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik bölümündeki değerli hocalarımız Yrd. Doç. Dr. Yusuf SELAMET ve Prof. Dr. Lütfi ÖZYÜZER'e ve deneyler sırasında bize yardımcı olan Araş. Gör. Yılmaz ŞİMŞEK ve Araş. Gör. Kadir VAHAPLAR'a teşekkür ederim. SEM görüntülerini değerlendirmede bilgilerini benimle paylaşan Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünden değerli hocamız Uz. Dr. Hatice YILMAZ'a teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Oya ÖZKAN

Mg KATKILI Bi-2223 SÜPERİLETKENLERİN KARAKTERİZASYONU

ÖZ

Bu çalışmada Bi-2223 süperiletken örneklerde Mg katkısının etkileri incelenmiştir. Örnekler Bakır (Cu) yerine değişen oranlarda Magnezyum (MgO) ($x=0,00, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20$) katkısı yapılarak katı hal tepkime yöntemi ile hesaplanmıştır.

Bu bileşiğin süperiletkenlik ve diğer özellikleri direnç-sıcaklık (R-T), X-ışınları difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve yoğunluk ölçümleri ile incelenmiştir. Elektriksel direnç ölçümleri standart dört- nokta uç metodu ile manyetik süseptibilite ölçümleri karşılıklı indüktans yöntemi ile yapılmıştır. Örneklerin yüzey mikroyapıları ve yüzey morfolojilerinin incelenmesinde (SEM) kullanılmıştır.

Mg katkısının Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarının gelişimini desteklediği saptanmıştır. Bu ölçüm ve analizlerin ışığında; Mg katkısının örneklerin süperiletkenlik özelliklerine etkileri tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Mg katkısı, BSCCO, Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

CHARACTERIZATION OF Mg DOPED Bi-2223 SUPERCONDUCTORS

ABSTRACT

In this study, the effects of Mg doping in Bi-2223 superconductor samples were investigated. The samples were prepared by substituting Magnesium (MgO) ($x = 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) for Copper (Cu) with changing ratios by the solid-state reaction method.

The superconducting and other properties of these compounds have been investigated by measuring resistivity-temperature (R-T), the X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and the density. The electrical resistance measurements were made by standard four-probe method. The magnetic susceptibility measurements were made by mutual inductance method. (SEM) was employed to investigate the surface microstructure and surface morphology of the samples considered.

It was determined that effect of Mg supports the development of the Bi-2212 and Bi-2223 phases. In the light of these measurements and analyses the effects of Mg dopant on superconducting properties of samples were discussed.

Key words: Mg doped, BSCCO, High Temperature Superconductors

İÇİNDEKİLER

	Page
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
1.1 Süperiletkenliğin Keşfi.....	1
1.2 Tarihsel Gelişme.....	2
1.3 Kritik Sıcaklık.....	4
1.4 Kritik Manyetik Alan.....	5
1.5 Meissner Olayı.....	6
1.6 Nüfuz Derinliği.....	7
1.7 I. ve II. Tip Süperiletkenler.....	8
BÖLÜM İKİ – SÜPERİLETKENLİK TEORİLERİ.....	11
2.1 London Teorisi.....	11
2.2 Ginzburg-Landau Teorisi.....	13

2.3 BCS Teorisi.....	15
BÖLÜM ÜÇ – YÜKSEK SICAKLIK SÜPERİLETKENLERİ	17
3.1 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Zamana Bağlı Gelişimi	17
3.2 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Genel Yapısı	18
3.3 Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri	19
3.4 Bi-Sr-Ca-Cu-O Süperiletkenlerine Katkı Yapılmasının Etkileri	21
BÖLÜM DÖRT – DENEYSEL YÖNTEMLER.....	26
4.1 BPSCCO Süperiletken Örneklerin Hazırlanması.....	26
4.2 Direnç-Sıcaklık Ölçüm Yöntemi.....	28
BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL SONUÇLAR ve BULGULAR.....	30
5.1 XRD Ölçüm Sonuçları.....	30
5.2 Direnç-Sıcaklık Ölçüm Sonuçları	38
5.3 SEM Sonuçları	43
5.4 Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	46
BÖLÜM ALTI – SONUÇ.....	48

6.1 Genel Sonuç	48
KAYNAKLAR.....	50

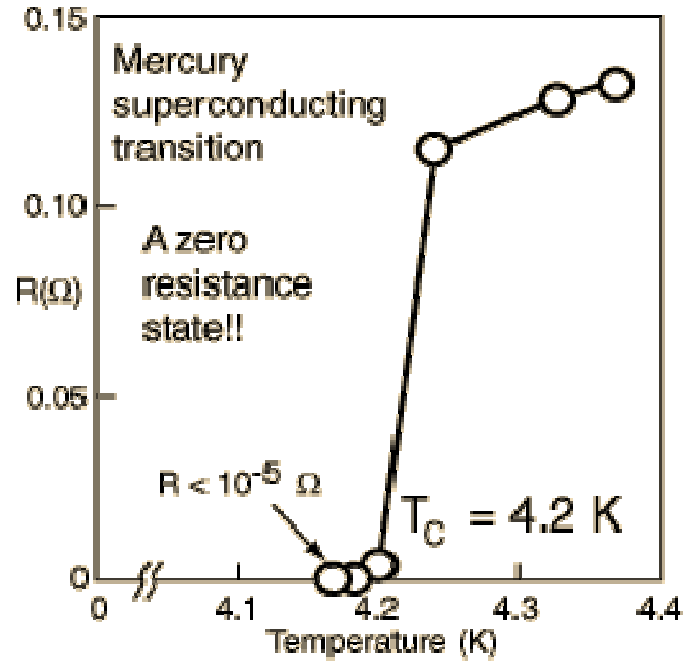
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Süperiletkenliğin Keşfi

İletkenlerdeki elektrik direncinin örneklerin soğutulmasıyla azaldığı çok eskiden beri bilinmekteydi. Direncin tamamen yok edilebileceği ilk kez 1911 yılında Hollandalı fizikçi Heike Kamerling Onnes tarafından Hg' da keşfedildi. Kamerling Onnes, helyum gazını sıvılaştırarak sıcaklık derecesini -269°C (4K) kadar düşürmüştü; saf cıvanın (Hg) bu sıcaklıklardaki direncini ölçmüştü ve 4,19 K'de cıvanın direncinin sıfıra düştüğünü bulmuştur (Askerzade, 2005). Daha sonraları bu mükemmel iletkenliğe ani geçişin, başka metal ve alaşımlarda da olduğu bulundu ve bu olguya süperiletkenlik adı verildi. Süperiletkenin direncinin yok olduğu bu sıcaklığa kritik sıcaklık ya da geçiş sıcaklığı denir. Kritik sıcaklık (T_c) her metal için farklı değerdedir.

Başlangıçta yapılan araştırmalarda, alaşımlar ve tek tek maddelerin direnç-sıcaklık ölçümlerine yoğunluk verildi. Niobyum'un en yüksek kritik sıcaklığına sahip metalik element (9,3K) olduğu bulundu. Daha yüksek kritik sıcaklığına sahip malzemelerin araştırılması, alaşım ve bileşiklerin de incelenmesine sebep olmuştur. 1972'de Niobyum-Germanyum (Nb_3Ge) alaşımının 23K kritik sıcaklığına sahip olduğu bulundu. Süperiletkenlik olayının keşfinden sonra Periyodik tabloda birçok metalik elementin süperiletkenlik özelliği gösterdiği anlaşıldı.



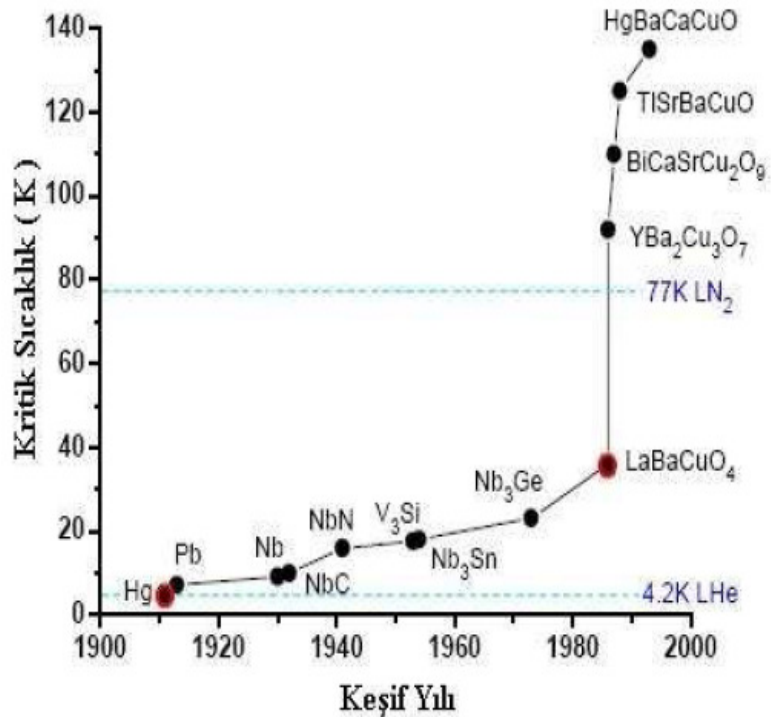
Şekil 1.1 Civa'nın öz direncinin mutlak sıcaklıkla değişimi

1.2 Süperiletkenliğin Tarihsel Gelişimi

Süperiletkenlerin manyetik özellikleri tıpkı elektriksel özellikleri gibi çok yoğun ilgi çekmiştir. Süperiletken malzemelerin bir diğer önemli özelliği onların diyamanyetik özellik göstermesidir. 1933 yılında süperiletkenlerin manyetik özelliklerini inceleyen Robert Ochsenfold ve Hans Meissner manyetik alanda soğutulan bir süperiletkenin kritik sıcaklık altına indiğinde manyetik akıyı dışarladığını buldular.

1935 yılında London teorisi süperiletkenlerin elektrodinamik özellikleri açıklayan ilk teori olmuştur. London teorisi diyamanyetizma ve sıfır direnç durumunu Maxwell denklemlerine dayalı iki denklemlerle açıklar. İlerideki yıllarda süperiletkenler manyetik alandaki davranışlarına göre iki ayrı grupta toplandı. I. Tip süperiletkenlerin genellikle element, II. Tip süperiletkenlerin ise bileşik ya da alaşımlar olduğu anlaşıldı. London teorisi her iki tipteki süperiletkenler için Meissner etkisini açıklayabilmiştir.

Süperiletkenliğin ikinci önemli teorisi ise; Ginzburg-Landau teorisi. Ginzburg ve Landau 1950’de yaptığı çalışmalarda süperiletkenlik elektronu davranışını London’ un teorisiyle birleştirerek bir teori ortaya koydular. G-L teorisi süperiletkenliğin ilk kuantum teorisi ve ikinci dereceden faz geçişi yapan bir sistemin termodinamiğini inceler. Bu teori sayesinde II. Tip süperiletkenler açıklanmıştır. Mikroskobik anlamda süperiletkenliğin teorisini J. Barden, L. Cooper ve J. R. Schrieffer 1957 yılında ortaya koydular ve bu teori kısaca BCS teorisi olarak adlandırıldı. Bu teorinin ana teması iki elektron arasında “Cooper Çiftleri” olarak bilinen bağlı bir durumun oluşmasıdır.



Şekil 1.2 Süperiletkenliğin tarihsel gelişimi

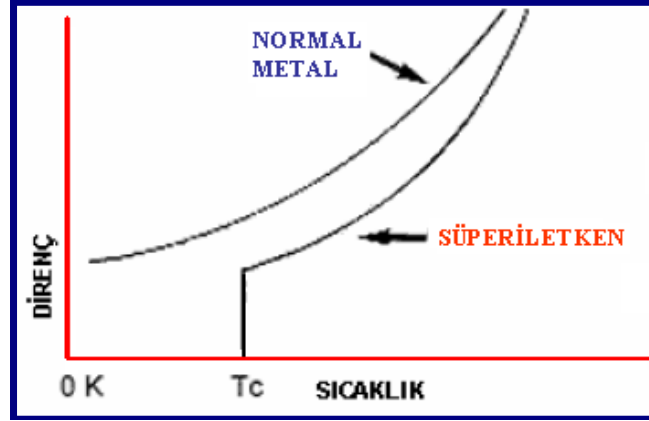
1986 yılının başlarında J.Georg Bednorz ve Karl Alex Müller lantanyum, baryum ve bakırın bir oksidinde (La-Ba-Cu-O) 30 K’nin üzerinde süperiletkenliğin varlığını bildirdiler. O zamana kadar kritik sıcaklık için bilinen en yüksek değer 23 K idi. Bu bakımdan bu keşif “Yüksek Sıcaklık Süperiletkenliği” olarak bilinen bir dönemin başlamasına neden olan çarpıcı bir gelişmedir. Kritik sıcaklık (T_c) değerinde hızla yükselme gözlenmiştir (Şekil 1.2) (Maple, 1998). Daha sonra bunu $T_c=90$ K’lik Y-

Ba-Cu-O, $T_c = 110$ K'lik Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemleri izlemiştir. Ayrıca 1988 yılında Sheng ve Herman tarafından Tl-Ba-Ca-Cu-O sisteminde süperiletkenlik geçişi gözlemlendi. Parkin ve arkadaşları Tl- tabanlı süperiletkenlerde bilinen en yüksek geçiş sıcaklığını 125 K olarak gözlediler. 1995' de kritik sıcaklığı 138 K olan $Hg_{0,8} Tl_{0,2} Ba_2 Ca_2 Cu_3 O_{8,33}$ seramiği keşfedildi. 2001 yılında Jun Akimitsu ve ekibi MgB_2 nin 39 K de süperiletken olduğunu keşfettiler. Bu keşifle ilk defa metalik bir süperiletkenin 39 K gibi yüksek bir T_c 'ye sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

1.3 Kritik Sıcaklık

Bir iletkende akım, metal içinde serbest olarak hareket eden “iletim elektronları” tarafından taşınır. Elektronlar metal içerisinde ilerleyen bir düzlem dalga tarafından temsil edilebilir. Elektronlar düzgün tekrarlanan örgülü kristal yapıya sahip bir metal içerisinde hiç momentum kaybetmeden serbestçe ilerleyebilirler. Kristal örgüde yabancı atomlar ve diğer kusurların rastgele yayılması bu periyodik ilerlemeyi engeller. Isısal titreşimler ve iletkenlik elektronlarının bu ortamda ilerlerken karşılaştıkları elektriksel direnç artar. Sıcaklık düşürüldüğünde atomların ısısal titreşimleri ve iletkenlik elektronlarının saçılma sıklıkları düşer.

Bazı metal ve alaşımlarda, sıcaklık iyice düşürüldüğünde elektrik öz direncinin birden sıfıra gitmesi durumuna süperiletkenlik denir. Bu durumda kritik bir T_c civarında örnek normal elektrik direncine sahip bir fazdan sıfır direnç durumunu gösteren süperiletkenlik fazına geçiş yapar. Şekil 1.3'te normal metal ve süperiletkenin direncinin sıcaklığa göre değişimi gösterilmiştir (Taylor, çev., 1996).



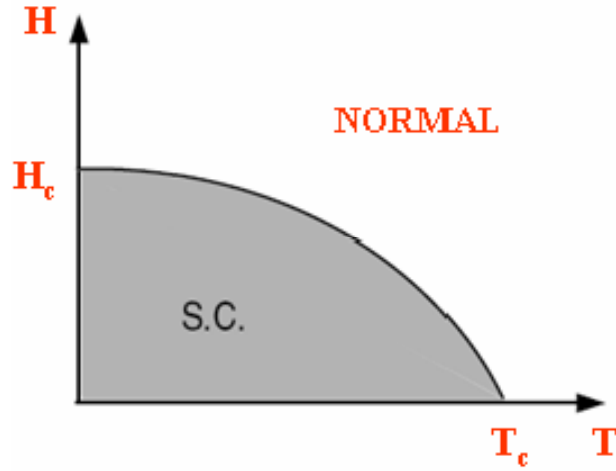
Şekil 1.3 Normal metal ve süperiletkenin direncinin sıcaklığa göre değişimi.

1.4 Kritik Manyetik Alan

Süperiletkenlerin hiçbir enerji kaybına uğramadan elektriği iletmeleri ancak belli koşullar altında gerçekleşir. İlk olarak; kritik akım yoğunluğu akım bu sınırı aşarsa malzeme süperiletkenliğini kaybederek normal bir dirençli malzemeye dönüşür ve elektrik akımının geçmesini güçleştirir. İkinci olarak; bir malzemenin süperiletkenliği dış bir manyetik alandan etkilenecek şekilde yok olabilir. Bunun için gerekli manyetik alana sıcaklığa bağlıdır. Süperiletkenliğin yalnızca malzemenin sıcaklığını artırarak değil, aynı zamanda zayıf bir manyetik alana yerleştirilerek de ortadan kaldırılabilir. Bu alan, malzemenin kritik alanı olarak isimlendirilir ve yaklaşık olarak verilen, aşağıdaki eşitlikle sıcaklığa bağlılık gösterir.

$$H_c(T) \approx H_c(0) [1 - (T/T_c)^2] \quad (1.4.1)$$

Bir manyetik alana, karşıt bir manyetik alanla karşılık veren malzemeler diyamanyetik olarak adlandırılırlar. Çoğu malzeme, çok az da olsa diyamanyetik özellik gösterebilir. Ancak süperiletkenlerde bu özellik en şiddetli biçimde gözlenir. Çünkü süperiletkenler, dış manyetik alanı yok edecek kadar şiddetli manyetik alan üretirler.

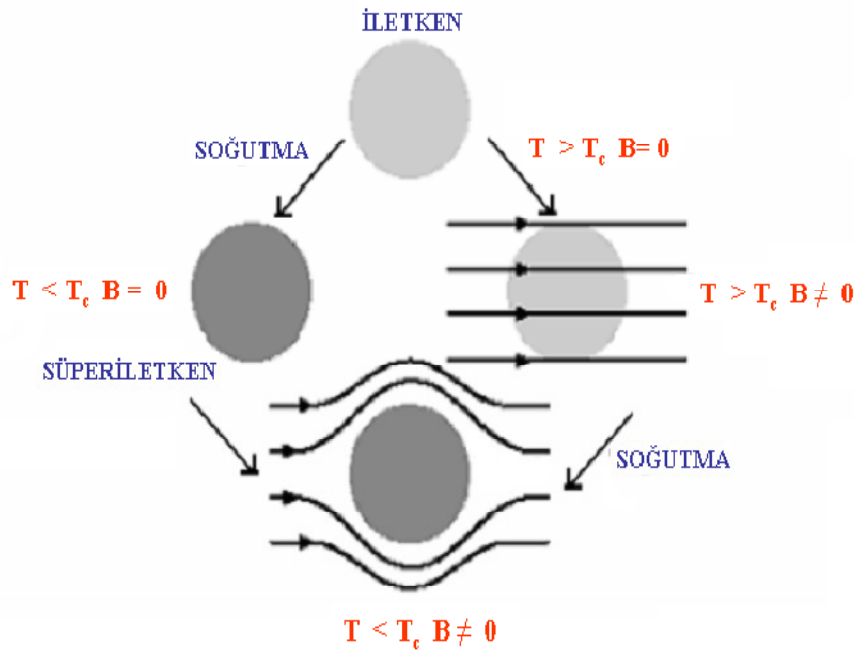


Şekil 1.4 Kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimi

1.5 Meissner Olayı

1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld; zayıf bir manyetik alanda, soğukta, bir metal süperiletken olduğunda, madde içinde her noktada $\mathbf{B} = 0$ olacak şekilde alanın manyetik alanı dışarladığını keşfettiler. Böylece alan, ister madde kritik sıcaklığın altına kadar soğutulmadan önce, ister soğutulduktan sonra uygulanmış olsun, aynı $\mathbf{B}=0$ durumunda olduğu bulunmuş oldu.

1945 yılında V. Arkadiev süperiletkenlerin bu özelliğini, yüzeyinin üzerine küçük bir mıknatısı yerleştirerek gösterdi. Süperiletken bir malzeme, bu mıknatısı yüzeyinden uzaklaştırıyordu ve daha sonrasında bu deney Meissner etkisini gösteren klasik bir deney haline geldi. Meissner Etkisi oldukça önemli bir keşiftir. Sıfır indüksiyon, $B < B_c$ 'de süperiletkenlik halinin ayırt edici bir özelliği olarak da kullanılabilir.



Şekil 1.5 Süperiletkenlerin manyetik davranışları

Şekil 1.5’de önce bir malzeme soğutulup süperiletken hale getirildikten sonra, manyetik alan uygulandığında, daha sonrada manyetik alan uygulanan bir örnek soğutularak süperiletken hale getirildiğinde örneğin davranışı gösterilmiştir. Şekildende anlaşıldığı gibi bu iki durum arasında bir fark yoktur. Her iki durumda da manyetik akı dışlanır. Ayrıca ideal normal bir iletkenle, bir süperiletkenin AC manyetik alandaki davranışları birbirine benzerdir.

1.6 Nüfuz Derinliği

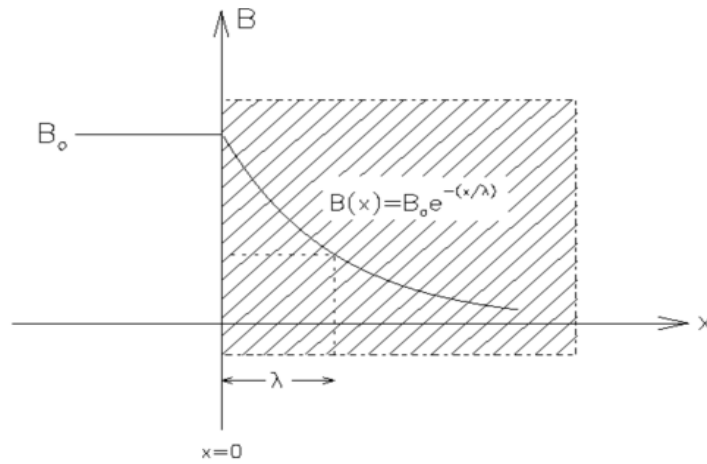
Süperiletkenlerde oluşan yüzey akımları, magnetik alanların süperiletkenin içine girmesine izin vermez. Gerçekte bu akımlar yalnızca numunenin yüzeyindeki çok ince tabakadan oluşmazlar, tersine yüzeyde maddeye nüfuz ederek; sonlu kalınlıktaki bir et tabakası üzerine dağılır. Mükemmel diyamanyetizma özelliğinin, yüzey akımları neticesinde malzeme içerisinde tamamen korunmasına karşın; manyetik alan bu ince katman içerisinde süzülmemektedir. Bu olaya nüfuz derinliği denilmektedir. Süperiletken yüzeyinden içine doğru gidildiğinde manyetik alan eksponansiyel olarak azalmaktadır. Böylece magnetik alan, Meissner Olayı ile

uyumlu olarak numunenin içinde sıfır olmaktadır. B manyetik alanı derinlikle aşağıdaki şekilde değişmektedir.

$$B(x) = B(0)e^{-x/\lambda} \quad (1.6.1)$$

Nüfuz derinliği değeri sıcaklığa ve maddenin cinsine bağlı olarak değişir. $\lambda_{(0)}$, 0 K' deki nüfuz derinliği olmak üzere, nüfuz derinliği sıcaklıkla aşağıdaki bağıntıya göre değişir.

$$\lambda_{(T)} = \lambda_{(0)}[1 - (T/T_c)^4]^{-1/2} \quad (1.6.2)$$

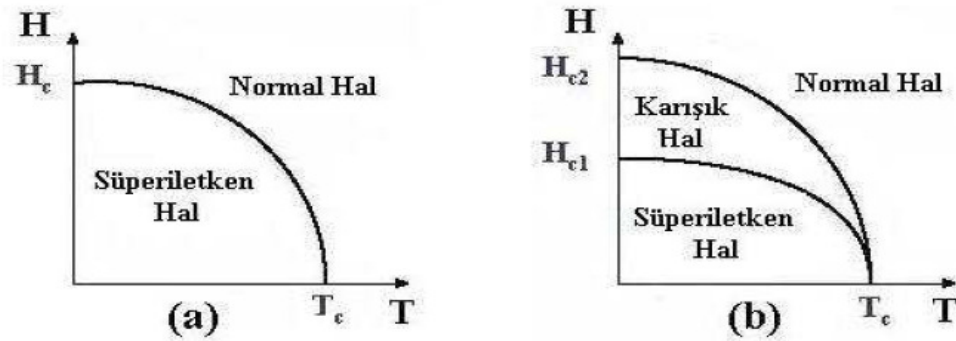


Şekil 1.6 Manyetik alanın süperiletkene nüfuz etmesi

1.7 I. ve II. Tip Süperiletkenler

Süperiletkenler manyetik alandaki davranışlarına göre; I. Tip Süperiletkenler ve II. Tip süperiletkenler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. I. Tip süperiletkenin T_c altında sıfır direnç göstermesinin yanı sıra diğer bir özelliği de; mükemmel bir diyamagnet gibi davranmasıdır. T_c 'nin altındaki sıcaklıklarda uygulanan manyetik akı, I. Tip süperiletkenlerin iç bölgelerinden uzaklaştırılır yani Meissner etkisi gözlenir. Manyetik alan; kritik manyetik alan H_c 'nin üzerine çıktığında malzeme süperiletkenlik özelliğini kaybederek normal hale dönüşür. I. Tip süperiletkenin kritik manyetik alanı çok düşük olduğundan; süperiletkenler, mıknatıs yapımında çok kullanışlı değildir.

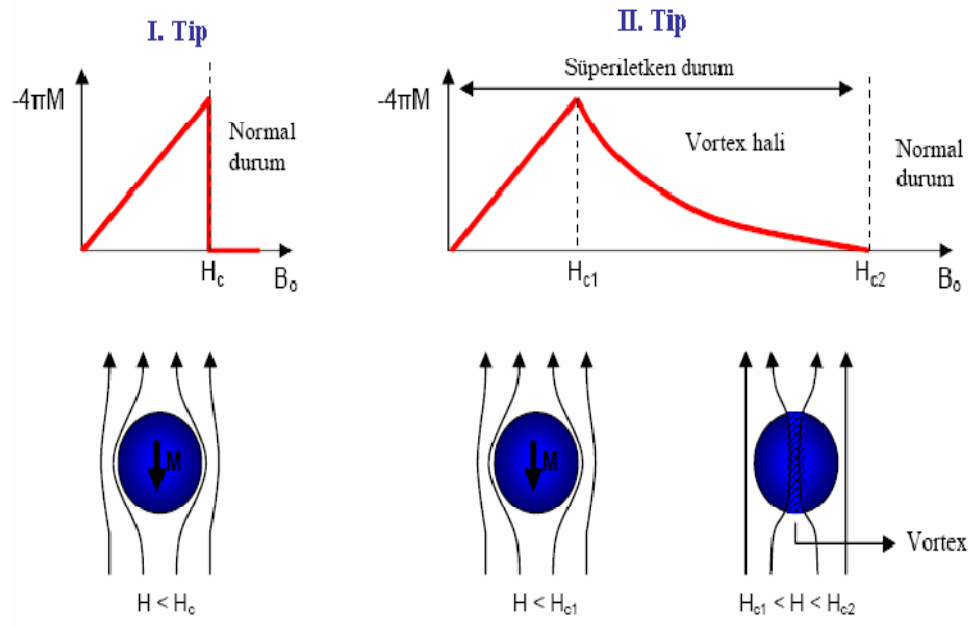
II. Tip Süperiletkenlerde iki tane kritik alan vardır. Alt H_{c1} ve üst H_{c2} alanları. Kritik H_{c1} alanı ile üst H_{c2} alanı arasındaki değerlerde manyetik akı yoğunluğu tam olarak sıfıra eşit değildir ve Meissner etkisi tam olarak oluşmamıştır. H_{c1} ve H_{c2} değerleri arasındaki bir manyetik alan değerinde; süperiletken malzeme, girdap (vortex) hali olarak adlandırılan karışık halde bulunur.



Şekil 1.7 I.Tip ve II.Tip süperiletkenler için sıcaklığa bağlı kritik manyetik alan değişimi

II. Tip süperiletkenler, I. Tip süperiletkenlerin kritik sıcaklığına göre çok daha yüksek kritik sıcaklıklara sahiptirler. II. Tip süperiletkenler iki farklı kritik alana sahip olmalarıyla açıklanırlar. Süperiletkenliğin keşfinden bugüne kadar geçen süre zarfında periyodik sistemdeki birçok metalik elementin yanı sıra bazı ara metal bileşiklerinde ve bazı yarıiletkenlerde belirli bir T_c sıcaklığında süperiletkenliğe geçiş gözlemlendi. Bu süperiletkenliğe geçiş hem öz direncindeki değişime hemde Meissner Olayı ile doğrulandı.

Vortex halde madde 0 dirence sahip olabilir ve akı kısmen nüfuz edebilir. Uygulanan alan alt kritik alanı geçtiğinde; girdaplı bölgeler normal kısımlardan oluşan fitiller şeklinde olur. Uygulanan alanın şiddeti arttığında fitil sayıları artar ve alan üst kritik alana ulaştığında, numune normal hale geçer.



Şekil 1.8 I.Tip ve II.Tip süperiletkenlerin manyetik alan içindeki davranışları

BÖLÜM İKİ

SÜPERİLETKENLİK TEORİLERİ

2.1 London Teorisi

Meissner-Ochsenfeld olayını izah eden ilk teori; iki kardeş F.London ve H.London, tarafından 1935 yılında geliştirildi. Onların teorisi, süper akışkan helyumun iki-akışkan modelinden kaynaklanmaktaydı. Bu modele göre; süperiletkenlerdeki elektronlar iki grubun karışımı olarak, süperiletken grubun yoğunluğu n_s ve normal grubun elektron yoğunluğu n_n şeklinde tanımlanır. Bir süperiletkendeki toplam elektron yoğunluğu $n = n_n + n_s$ 'dir. Süperiletkenin sıcaklığı $T = 0$ 'dan $T = T_c$ 'ye kadar arttırıldığında, süper elektronların yoğunluğu n_s , n 'den sıfır değerine düşer (Askerzade, 2005). Bu durumda süper elektronlar ilerlerken direnç ile karşılaşmazlar. Bu akımlar süperiletken içinde elektrik alan meydana getirmezler. Eğer getirmiş olsalardı, süper elektronlar malzeme içersine sonsuza kadar ivmelenirlerdi. Normal elektronlar elektrik alanı olmaksızın durgun sistemde hareketsizdir. Elektrik alanı içerisinde süperelektronların hareket denklemi,

$$m_e \frac{dv_s}{dt} = eE \quad (2.1.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada m elektronun kütlesi, e elektronun yükü, v süperakışkanın hızıdır. Süper akımların yoğunluğunu $\vec{J}_s = n_s e \vec{v}_s$ ifadesi ile yazabiliriz. Bu ifadenin türevini aldığımızda;

$$\frac{\partial J_s}{\partial t} = n_s e \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.1.2)$$

(2.1.2) nolu eşitliği elde ederiz. (2.1.1) nolu eşitlikten hızın türevini, (2.1.2) nolu eşitlikte yerine yazarak 1.London denklemini elde ederiz.

$$\frac{\partial J_s}{\partial t} = \frac{n_s e^2 \vec{E}}{m_e} \quad (2.1.3)$$

Bu ifadenin rotasyonelini alarak 2.London Denklemi elde edilebilir.

$$\nabla \times \frac{\partial J_s}{\partial t} = \frac{n_s e^2}{m_e} \nabla \times \vec{E} \quad (2.1.4)$$

(2.1.4) nolu eşitlikte Maxwell denklemlerinden $\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t}$ ifadesi kullanılarak eşitlik aşağıdaki forma dönüşür.

$$\nabla \times \frac{\partial J_s}{\partial t} = -\frac{n_s e^2}{m_e} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.1.5)$$

Bu ifadeyi yeniden düzenlersek $\frac{\partial}{\partial t} \left[\nabla \times J_s + \frac{n_s e^2}{m_e} B \right] = 0$ (2.1.6) şeklini elde ederiz.

Bu ifadenin sıfır olabilmesi için parantez içindeki terim bir sabit olmalıdır. Meissner olayıyla, $B=0$, tutarlı olması için parantez içindeki terim sıfır olmalıdır .Buradan aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\nabla \times J_s = \frac{-n_s e^2}{m_e} \vec{B} \quad (2.1.7)$$

Bu ifade 2. London Denklemi olarak bilinir. Üçüncü Maxwell eşitliğini yeniden yazacak olursak:

$$\nabla \times B = \mu_0 J \quad (2.1.8)$$

$$\nabla \times (\nabla \times B) = \mu_0 (\nabla \times J_s) \quad (2.1.9)$$

$$\nabla \times (\nabla \times B) = \mu_0 \left(-\frac{n_s e^2}{m_e} \vec{B} \right) \quad (2.1.10)$$

$$\nabla \times \nabla \times v = \nabla(\nabla v) - \nabla^2 v \quad (2.1.11)$$

$$-\nabla^2 B = \mu_0 \left(-\frac{n_s e^2}{m_e} \vec{B} \right) \quad (2.1.12)$$

$$\nabla^2 B = \mu_0 \left(\frac{n_s e^2}{m_e} \vec{B} \right) \quad (2.1.13)$$

$$\frac{d^2 B}{dx^2} - \mu_0 \left(\frac{n_s e^2}{m_e} \vec{B} \right) = 0 \quad (2.1.14)$$

Meissner etkisi düşünülürse sınır şartları $B(0) = B_0$ ve $B(\infty) = 0$ dir. Yukarıdaki denklemin çözümü,

$$B(x) = B(0)e^{-x/\lambda} \quad (2.1.15)$$

şeklindedir. Bu eşitlik manyetik alanın süperiletken yüzeyinden itibaren üstel olarak azaldığını gösterir. Manyetik alan tam olarak süperiletken maddenin içine girmesede belli bir oranda süperiletkenin yüzeyinden içeri doğru girebilir. Manyetik alanın girebildiği bu uzaklığa London nüfuz derinliği denir ve λ ile gösterilir.

$$\lambda = \left(\frac{m_e}{n_s e^2 \mu_0}\right)^{1/2} \quad (2.1.16)$$

London Teorisi başarılı bir şekilde süperiletkenlerin sıfır direnç ve ideal diyamanyetizma özelliklerini açıklamaktadır. Bundan başka London Teorisi λ 'nın sıcaklıkla değişimini de tahmin edebilmiştir;

$$\lambda = \lambda_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right] \quad (2.1.17)$$

2.2 Ginzburg Landau Teorisi

Ginzburg ve Landau 1950'de yaptığı çalışmalarda süperiletkenlik elektronu davranışını London'un teorisiyle birleştirerek bir teori ortaya koydu. G-L teorisi süperiletkenliğin ilk kuantum teorisidir. Bu teori BCS teorisine büyük katkıda bulunmuştur. Bu teori sayesinde II. Tip süperiletkenler bulunmuştur. Bu teorinin en önemli özelliği eşuyum (koherens) uzunluğu kavramını içermesidir. Eşuyum uzunluğu; süperiletken içinde konuma bağlı bir manyetik alan olduğunda elektron yoğunluğunun yaklaşık sabit kaldığı uzunluktur. Ayrıca üzerinde süperiletkenliğin yaratılabildiği ve yokedilebildiği en küçük boyut olarak da tanımlanabilir. Landau teorisinin süperiletkenlere uygulanması bir düzen parametresi olarak ψ dalga fonksiyonunun işleme konmasını gerektirir. Düzen parametresi $\psi(\vec{r})$ ve $n_s(\vec{r})$ süperiletken elektronların yerel yoğunluğu ise serbest enerji yoğunluğu:

$$F_s(\vec{r}) = F_n(\vec{r}) - \alpha |\psi|^2 + \frac{\beta}{2} |\psi|^4 + \frac{1}{2m} \left| \left(-i\hbar \vec{\nabla} - \frac{q\vec{A}}{c} \right) \psi \right|^2 - \int_0^{B_a} \vec{M} d\vec{B}_a \quad (2.2.1)$$

Serbest enerji yoğunluğu denkleminde F_n normal durumdaki enerji yoğunluğudur.

$\alpha\psi^2 + \frac{1}{2}\beta\psi^4$ terimi serbest enerjinin ikinci dereceden bir geçişte sıfır olan bir düzen parametresi cinsinden seri açılımının ilk terimi olur. $\int_{B_a} \vec{M} d\vec{B}_a$ süperiletkenden dışarı magnetik akı azalmasıyla serbest enerjide oluşan artış⁰ gösterir.

Serbest enerji ψ düzen parametresine göre minimize edilirse:

$$-\alpha\psi + \beta|\psi|^2\psi + \frac{1}{2m} \left(-i\hbar\nabla - \frac{qA}{c} \right)^2 \psi = 0 \quad (2.2.2)$$

sonucu bulunur. Bu Ginzburg-Landau'nun birinci denklemdir. Serbest enerji yoğunluğu ifadesini bu sefer A vektör potansiyeline göre minimize edersek;

$$\mathbf{j}_s(\mathbf{r}) = -\frac{iq\hbar}{2m} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) - \frac{q^2}{mc} \psi^* \psi \mathbf{A} \quad (2.2.3)$$

GL teorisinin ikinci eşitliği olan akım yoğunluğunu ifadesini buluruz.

Birinci GL eşitliğinde; $A=0$ ve $\beta|\psi|^2 \ll \alpha$ olarak kabul edilirse,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} = \alpha\psi \quad (2.2.4)$$

denklemi elde edilir ve bu denklemin çözümü $\exp(ix/\sqrt{\hbar^2/2m\alpha})$ dır. Parantez içindeki terimin paydası her malzeme için sabittir ve GL koherens(eşuyum) uzunluğu olarak tanımlanır. London nüfuz derinliğinin eşuyum uzunluğuna oranı süperiletkenler için önemli bir parametre olan GL (Ginzburg-Landau) parametresini verir.

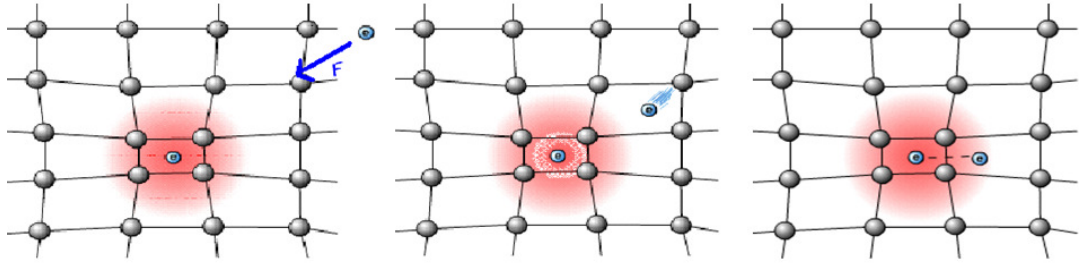
$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} = \left(\frac{mc}{q\hbar} \cdot \frac{\beta}{2\pi} \right)^{1/2} \quad (2.2.5)$$

Bu parametre, süperiletken malzemenin tipini belirler. Koherens uzunluğu nüfuz derinliğinden büyükse madde I.tip, eğer küçükse madde II. tip süperiletkendir. Koherens uzunluğu ve nüfuz derinliği, normal bir metalin elektronlarının ortalama serbest yoluna bağlıdır. Bir metale safsızlıklar katılarak ortalama serbest yol kısaltılabilir. Metale safsızlıklar eklendikçe, nüfuz derinliği artar ve koherens uzunluğu kısalır. Böylece, bir metale başka bir metal ekleyerek I.tip süperiletkenden II.tip süperiletkene dönüşüm sağlanabilir.

3.3 BCS Teorisi

1957’de John Bardeen, Leon Cooper, Robert Schrieffer, tarafından ortaya atılan mikroskobik teori; süperiletkenlerin değişik özelliklerinin anlaşılmasında başarılı olmuştur. BCS Teorisi temelde çok düşük sıcaklıklarda süperiletken malzeme içindeki elektronların hareketiyle ilgilenir. Bu teorinin ana teması; aralarında bir tür çekici etkileşme bulunan iki elektronun Cooper çiftleri olarak bilinen bağlı durumlar oluşturmasıdır. Bu teori ile normalde aynı kutupların birbirini itmesi gerçeğine karşın, elektronların örgü titreşimiyle etkileşerek birbirlerini çekebilecekleri ve elektron çiftleri oluşturabilecekleri gösterildi. Eksi yüke sahip olduğunu bildiğimiz hareketli bir elektron, pozitif yüke sahip bir iyonla yaklaştığı anda; çekim etkisiyle örgünün o noktada büzülmesine sebep olur. Bu anda elektron civarındaki net yük pozitifdir. Ardından yaklaşmakta olan ikinci bir elektron o noktadaki büzülme görür ve net pozitif yükün çekim etkisiyle o tarafa doğru çekilir. Bu durumda iki elektron birbirini “elektron-örgü-elektron” mekanizmasıyla dolaylı olarak çekmiş olur.

Kuantumlanmış örgü titreşimleri “fonon” olduğundan, sistem “fonon etkileşimli mekanizma” olarak da adlandırılır. Şekil 2.1’de Cooper çiftleri olarak adlandırılan iki elektronun nasıl birlikte kenetlenmiş olduğunu göstermektedir. İkisinin çiftlenmesi ile, elektronlar süperiletkenler içinden daha düzgün şekilde geçerler.



Şekil 2.1 İki elektron arasında örgü bozulmasından ortaya çıkan çekici etkileşimin şematik gösterimi

Eğer bir Cooper çifti bir fononla çarpışırsa, süperiletken özellik kaybolabilir ancak bunun için fononun enerjisinin elektronların karşılıklı etkileşimlerini aşabilecek derecede yeterli enerjiye sahip olması gerekir. Mutlak sıcaklığın yakınlarında, Cooper çiftlerini kırmaya yetecek enerjiye sahip fonon bulunmaz.

Ancak sıcaklık kritik sıcaklığa doğru yükseldikçe, fononların kristal örgü içindeki titreşimleri artar. Kritik sıcaklığa ulaşıldığında da Cooper çiftleri kırılır ve malzeme süperiletken özelliğini kaybeder. BCS teorisi mükemmel diamagnet ve mükemmel iletken olan I.tip süperiletkenlerin davranışını açıklar. II. tip süperiletkenlerin ise; düşük kritik sıcaklığa sahip olanların davranışını açıklarken, yüksek kritik sıcaklığa sahip bazı seramik süperiletken malzemelerin davranışlarını açıklamada yetersiz kalır.

BÖLÜM ÜÇ

YÜKSEK SICAKLIK SÜPERİLETKENLERİ

3.1 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Zamana Bağlı Değişimi

1986 yılında IBM Zürih Araştırma laboratuvarında Bednorz ve Müller, La-Ba-Cu-O (LBCO) sisteminde $[(La,Ba)_2CuO_4]$, 30K T_c 'lik kritik bir sıcaklıkta yeni bir önemli süperiletken buldular. Bu buluş, Tokyo Üniversitesi'ndeki Tanaka'nın grubunun ilgisini klasik Bardeen-Cooper-Shrieffer (BCS) teorisinden tahmin edilebilecek yeni daha yüksek T_c 'ye çekmiştir. 1986'nın sonlarında, Ba için Sr'nin yerine konmasının T_c 'yi 42.5 K'e yükseltmede işe yaradığını doğruladılar. Bu gelişmeden sonra, daha yüksek kritik sıcaklıkta bileşikler bulabilmek için çalışmalar yoğunlaştı. Kısa süre sonra T_c , La oksit serilerinde 57 K'lik bir maksimuma ulaştı.

Yüksek T_c bilgisinde bir aylık bir sessizlikten sonra Şubat 1987'de, Wue ve ekibi Y-Ba-Cu-O (YBCO) sisteminde $(YBa_2Cu_3O_{7-\delta})$ 90K'lik sıvı-nitrojen sıcaklığının üzerinde süperiletkenlik buldu. Ayrıca, YBCO'nun T_c değeri ne Y için diğer yeryüzünde az bulunan elementlerin yerine konmasıyla, ne de yaklaşık bir yıl için oksijen içeriğinin kontrolüyle geçilememiştir. Yüksek T_c süperiletkenlerini bulmak için, yeryüzünde az bulunan elementleri içermeyen oksitlerin diğer sınıflarını araştırmanın önemli olduğuna inanılır. Bu, araştırmacıları diğer üç değerli iyonları içeren süperiletken oksit sistemini çalışmaya yönlendirmiştir. Yeryüzünde az bulunan elementler içermeyen Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) sisteminde yeni bir sınıf yüksek T_c süperiletkenleri, 24 Aralık 1987'de bulundu ve 21 Ocak 1988'de bildirildi. Oksit, YBCO sisteminkinden 15 K daha yüksek yaklaşık 105 K'lik bir T_c 'ye sahiptir. Tek yüksek T_c fazını izole etmek 4 ay sürdü. Bu olay, Bi'nin bir bölümü için Pb'nin yerine konmasıyla Takana ve ekibi tarafından başarılmıştır. 1986 yılından önce keşfedilen bütün süperiletkenler, alçak sıcaklık süperiletkenleri (LTSC) olarak adlandırılır ve bakır-oksit tabakası içermezler. 1986 yılından sonraki keşiflerde süperiletkenler yüksek sıcaklık süperiletkenleri (HTSC) olarak adlandırılır ve hepsi bakır-oksit tabakası içerir. Bakır-oksit tabakaları kendini

tekrarladıkça süperiletkenlik geçiş sıcaklığı (T_c) artar. HTSC' ler son derece anizotropik, yani yöne bağımlı özelliklere sahiptirler. Bu özellik direncin bakır-oksit düzleminde çok küçük, düzleme dik doğrultuda ise çok büyük olmasıyla gözlemlenebilir. Mekanik özellik açısından bakılacak olursa; esnek olmayan yani kırılğan bir yapıya sahiptirler. Taneler arasındaki zayıf bağ etkisinden dolayı düşük kritik akım yoğunluğuna sahiptirler.

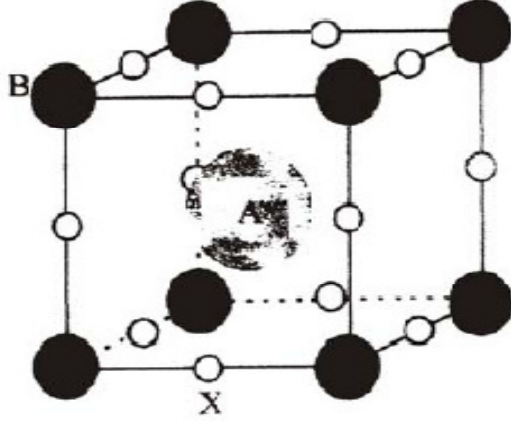
Ayrıca, BSCCO polikristal maddelerinde yüksek kritik akım yoğunluğu, J_c taşıyan parçacık sıralamasını geliştirmek için uygun metotlar geliştirildi. Bu metodlar: yüksek T_c fazı için, soğuk basınçlama gibi mekaniksel bir yöntem ya da son ısı davranışı boyunca arada bulunan soğuk döndürme ve düşük T_c fazı için, kısmi eritme ve yavaş soğutma kristal geliştirme yöntemi. Bu başarılar Bi-oksit süperiletkenlerin gelecek uygulamalarına ışık tuttu. Uygun seviyede J_c gösteren 1 km uzunluğunda Bi-oksit tellerli ve bantları hazırlanmıştır.

3.2 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Genel Yapısı

Yüksek sıcaklık süperiletken bileşiklerin tamamı CuO düzlemleri içeren “perovskit” yapılara sahiptir. Oksijen atomları; zincirler içinde, metal-oksit düzlemleri içinde ve bakır oksit düzlemleri içinde olmak üzere üç farklı şekilde düzenlenir. Cu-O düzlemlerini ayıran nadir toprak elementlerinin oluşturduğu metal-oksit düzlemleri yük deposu olarak görev yaparlar ve Cu-O düzlemlerine yük taşıyıcılarını verirler. Elektron çiftlerinin oluşturduğu dirençsiz süperakımlar bakır-oksit düzlemleri içinden akmaktadır.

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri Cu-O düzlemlerinin üst üste sıralanması ile oluşmaktadır. Süperiletkenliğin iki boyutlu iyi iletken olan bu düzlemlerden meydana geldiğine inanılmaktadır. İdeal bir perovskit yapı ABX_3 yapısına sahiptir. A ve B atomları metalik katyonlar (pozitif yüklü), X atomları anyonlardır (negatif yüklü). A atomu B atomlarından daha ağır ve büyüktür, kübün merkezinde bulunur. Daha küçük olan B metalik katyonları, kübün 8 köşesinde bulunur. X anyonları ise; 12 kenarın orta noktalarına yayılmışlardır. A atomu yerine 20 element, B atomu

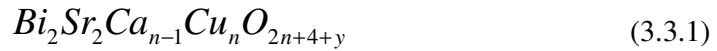
yerine yaklaşık 50 element bulunmuştur ve X atomları çoğunlukla oksijen atomudur. CuO düzlemlerindeki taşıyıcı yük yoğunluğu ara tabakalar tarafından denetlenmektedir. Bu ara tabakalar yük deposu gibi davranmaktadırlar.



Şekil 3.1 Perovskit yapı (Askerzade, 2005)

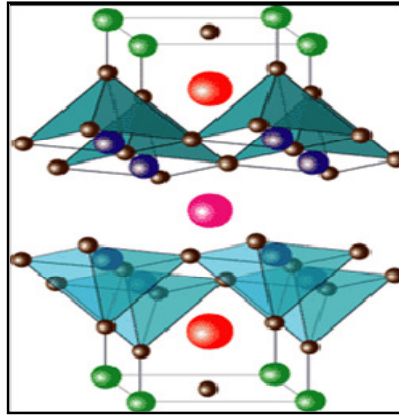
3.3 Bizmut Tabanlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

Bi-tabanlı cupratelerin çok benzer kristal yapılarda olan en az üç süperiletkenlik fazından meydana geldiği bilinmektedir. Bu fazlar için genel kimyasal formül şöyle yazılabilir;



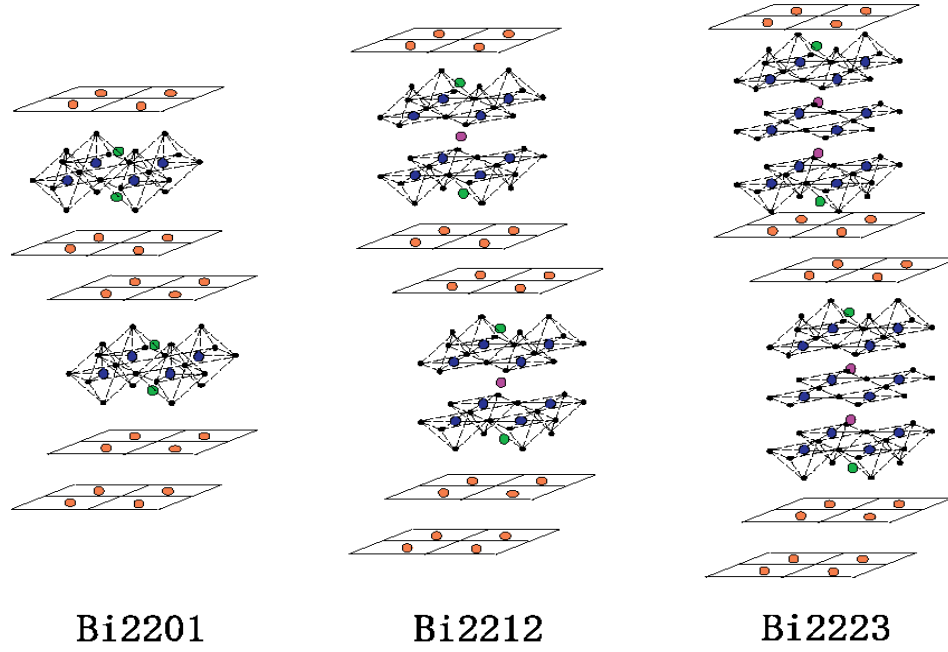
Bi (bizmut), Sr (stronsiyum), Ca (kalsiyum), Cu (bakır) ve O (oksijen)'den oluşan yüksek-sıcaklık süperiletkenine Bizmut süperiletkeni denir. Burada n=1, 2 ve 3 sırasıyla 2201 (Tc=10K), 2212 (Tc=80K) ve 2223 (Tc=110K) fazlarına karşılık gelir. 2223 ve 2212 kritik sıcaklıkları sıvı nitrojen sıcaklığının üzerindedir. Bunun yanı sıra BSCCO, nadir toprak elementi içermediği keşfedilmiş ilk yüksek sıcaklık süperiletkenidir. BSCCO-2212 tel yapımında kullanılan ilk yüksek sıcaklık süperiletkenidir. BSCCO-2212 yapısı diğer bizmut ailesi üyeleri ile çok benzer bir yapıya sahiptir. 2201, en üst kısmında birden az CuO₂ içerir ve en altta yarım Ca tabakası yoktur. 2223, heryarımında extra CuO₂ ve Ca içerir. BSCCO; YBCO gibi kristal tanecik sınırlarında zayıf bağlantı problemlerine sahip olmasına rağmen,

sertlik devrimi (texture evolution) ile bunun üstesinden gelmiştir. BiO katmanları YBCO'da mevcut değildir. BSCCO'nun yükseltilmiş derecelerdeki manyetik alan içindeki kritik akım yoğunluğu, YBCO'dan 10 kat daha azdır. BSCCO ve YBCO süperiletkenleri Perovskite yapıları da dahil olmak üzere birçok açıdan benzerdir. Fakat onların elektronik özelliklerinde şaşırtıcı farklılıklar gözlenir. Karışık kristal bizmut yapısı Şekil 3.2'de olduğu gibi birbirinden farklı olarak değişen iki tabakayı göstermektedir. CuO tabakası (mor bakır-kahverengi oksijen) ve bizmut oksit tabakası (yeşil bizmut) arasına kalsiyum atomu serpiştirilmiş (pembe) ve stronyum (turuncu).



Şekil 3.2 Karışık bizmut kristal yapısı

Kritik sıcaklıkları sırasıyla 10, 80 ve 110 K olan $n=1,2,3$ fazları manyetik akım dışarlaması ve elektrik akım ölçümlerinde kararlıdır. Bizmut içeren süperiletkenler diğer temel yapılarla karşılaştırılmayacak kadar süper yapılardır. Oksijen içerikli yapısal modülasyonların ve onların süperiletkenlik özellikleri üzerindeki rolleri önemlidir. Bu modülasyonlar ilk olarak yüksek çözünürlüklü elektron mikroskopisi ile ortaya çıkarılmıştır. Bir seramik yüksek sıcaklık süperiletkeni aslında çok zayıf bir metaldir. Oda sıcaklığında hemen hemen bir yalıtkandır. Çünkü elektronlar sadece katı örgüyle temas halindedir. Kristal örgüde gösterildiği gibi; seramik kritik sıcaklığın altında soğutulduğunda elektronlar bir araya gelir ve birbirlerini dengeleyerek titreşen örgü ile hareket edebilirler.



Şekil 3.3 Bizmut tabanlı süperiletkenlerin birim hücre yapıları

3.4 BSCCO da Katkılamanın Etkileri

Bi-Sr-Ca-Cu-O sisteminde yüksek T_c süperiletkenlik bulunduğundan bu yana; hazırlanışı, süperiletkenlik özellikleri ve bu bileşenlerin yapısı hakkında birçok çalışma yayımlanmıştır. Bi-tabanlı cupratelerin çok benzer kristal yapılarda olan en az üç süperiletkenlik fazından meydana geldiği bilinmektedir. Bu fazlar için genel kimyasal formül şöyle yazılabilir: $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$, burada $n=1, 2$ ve 3 sırasıyla 2201 ($T_c=10\text{K}$), 2212 ($T_c=80\text{K}$) ve 2223 ($T_c=110\text{K}$) fazlarına karşılık gelir (Poole, 2000). Bunlar arasında en yüksek T_c ile yüksek T_c (2223) fazının tek bir fazda hazırlanması çok güçtür. Bi için Pb'nin kısmi yerine konmasının, 2223 fazının büyümesine desteği kanıtlanmış ve yabancı atom katkılamasına yönelik ilgi artmıştır (Sykorova ve diğer., 2002). (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O maddelerinin özelliklerinin farklı iyonik yarıçaplar ve farklı bağlama karakterine sahip elementlerin eklenmesi ya da yerine konmasıyla değiştirilebildiği bulunmuştur. Süperiletkenlik özellikleri, kristal yapıda katkının karakteristiklerine bağlı olarak geliştirilir ya da yok edilebilir.

Alkalin metal (Li, Na, K, Rb ve Cs) 'in Bi-tabanlı süperiletkenlerde, süperiletkenliğe eklenmesi/yerine konmasının etkileri üzerine birçok çalışma vardır. Kawai ve ekibi öncelikle $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ 'de Bi, Sr, Ca ve C alkalin metallerin yerine konmasının etkilerini çalışmıştır. Onlar, alkalin metallerin şiddetli bir şekilde Bi-2212 fazının oluşum sıcaklığını düşürdüğünü, bulmuşlardır. Li ve Na katkısı ile T_c arttırılmıştır, K ve Rb katkısı ile ise T_c düşürülmüştür. Bi-tabanlı sisteminde alkalin metal ekleme/yerine koyma üzerinde çok çalışma olmasına rağmen, 2212 fazına odaklanılmıştır. Sadece birkaç araştırmacı alkalin metal katkılarının Bi-2223 sisteminin süperiletkenlik özellikleri ve yapısı üzerindeki etkilerini çalışmıştır. K, Rb ve Cs 'nin 30% mol seviyesinde katkı yapıldığında T_c 'de kritik akım yoğunluğunda J_c 'de artış olur ve normal durum direncinde azalma olur. Dou ve ekibi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ in süperiletkenlik özelliklerinde Li, Na ve K alkalin elementlerinin etkilerini çalışmıştır. Alkalin metal katkısının T_c arttırdığını ve sıvı fazın oluşum sıcaklığını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Farklı iyonik yarıçapa ve farklı bağlanma karakterine sahip elementlerin eklenmesi/yerine konması ile süperiletkenlerin özellikleri kontrol edilebilir. Bi-tabanlı süperiletkenlerin özelliklerinde (V, Nb, Ta, Mn) geçiş metallerinin etkisi araştırılmıştır. Geçiş metallerinden küçük bir miktar eklenmesi Bi-2223 fazının içeriğini arttırmış ve taşıma özelliklerini geliştirmiştir. Fakat daha büyük miktarda yerine konan maddeler örneklerdeki zayıf bağlantıları bozmuştur.

Bi-tabanlı süperiletkenlerde 3A elementlerinin (B, Al, Ga, In) etkisi de çalışılmıştır (Smrckova ve diğer., 2002). Tüm örnekler Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarının karışımıdır. Süperiletkenlik fazlarının örgü parametreleri elde edilmiştir. Boron Bi-2223 fazının oluşumunu geliştirmiştir, $T_c=108$ K ile örnekler sınırlı bir hal değişimine sahiptir. Bi-2223 fazının miktarı Al ve In 'in küçük konsantrasyonu ile arttırılmıştır. Fakat Ga, Bi-2223 fazını bozmuştur ve Bi-2212 fazı baskın hale gelmiştir (Sykorova ve diğer., 2004).

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4-\delta}$ genel formülüyle süperiletkenlerin BSSCO sistemi arasında üç bölümlü tabakalı cuprate $(\text{Bi, Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ ($n=3$), daha yüksek T_c 'ye sahip; bulk araçlar ve uzun boydaki iletkenlerin işleme için uygun olduğundan,

hem kuramsal hem de teknolojik ilgi çekmektedir. Kapsamlı araştırma çalışması bu sistemin akış iğneleme(pinning) özellikleri, yapısı ve iletkenliğini geliştirmek için yapılmıştır. Yüksek sıcaklık süperiletkenleri; güçlü anizotropik özellikleri, çok düşük yük yoğunluğu, çok kısa eş uyum uzunluğu(ξ) ve geniş nüfuz derinliği(λ) ile bilinir. Bu doğal özellikler beklenmedik hızla oluşan akışın görelisi olarak düşük alan kuvvetlerine ve yüksek sıcaklıklara nüfuz etmesi ile sonuçlanır. Bu, enerji dağılımına, normal duruma ve süperiletkenlerin sonraki hal değişimine neden olur. Bu sonuç, yüksek alan ve sıcaklıklarda akım yoğunluğunu aynı tutmak için etkili iğneleme (pinning) merkezlerini ele alarak katı durumda göbek örgüsünü iliştiirmek için çok önemlidir. Düşük-açılı çizgi sınırları, istif hataları, çift sınırlar, saf olmayan fazlar, hızlandırıcılar, farklı fazların hesaba katılması, gelişme bozuklukları, oksijen boşlukları, yapısal düzensizlikler ve farklı boyutluluğun diğer maddeleri potansiyel iğneleme (pinning) merkezleri gibi hareket edebilirler. Ağır iyon aydınlatması ile yaratılan sütun hatalarının, (Bi, Pb)-2223/Ag bantlarında; yapay iğneleme (pinning) merkezleri üretmede etkili olduğu raporlanmıştır. Fakat bu metot geniş derece uygulamaları için uygun değildir. İşlem koşullarını düzenleyerek sistemde çok küçük boyutlarda hatalar yaratmak ya da çok küçük katkılarla sisteme katkı yapmak alternatif bir yaklaşımdır. Dış katkıların seçimi öyle yapılmalıdır ki; bu süperiletkenlik özelliklerini bozmamalıdır ve katkı yüzdesi kritik bir şekilde ayarlanmalıdır. (Bi, Pb)-2223 için literatürde birçok durum raporlanmıştır. Örneğin: karbon nanotüpler, SiC nanoparçacıklar, nanosize MgO parçacıkları ya da çubukları gibi. Ayrıca hem Bi-2212, hem de Bi-2223'de fazla Pb katkısının bu sistemlerin iğneleme (pinning) gücünü geliştirdiği bulunmuştur.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfi fizik ve mühendislik alanlarında büyük bir heyecanla karşılanmasına rağmen; bu malzemelerin güncel uygulamaları yavaş ilerlemektedir. Buna en temel engel dış bir manyetik alan varlığında süperiletkenlik özelliklerin bozulmasıdır. Örneğin; manyetik alan yokken 100 K civarında off set sıcaklığa sahip olan bir süperiletkene manyetik alan uygulandığında off set sıcaklık hızla düşmeye başlıyor. Bu bozulmanın kaynağı tip II süperiletkenlerdeki aşırı akı çizgilerinin (flux lines) oluşumunun sebep olduğu termal değişimdir. Manyetik alan varlığında bu malzemelerin performansını geliştirmede en önemli unsur termal

değişimleri yakalamaktır. Bu da akı çizgilerine etki eden ve onların vortex enerjilerini azaltan yapay kristal kusurları yaratılarak başarılmıştır.

Tip I süperiletkenleri manyetik alanı dışarlar, Tip II süperiletkenleri ise; akı tüpleri (flux tubes) olarak adlandırılan ufak, süperiletken olmayan deliklerden manyetik alanın geçmesine izin verirler. Tip II süperiletkenleri akı tüpü başına bir birim manyetik alana izin verirler. Bilindiği gibi süperiletkenler elektrik akımını neredeyse hiç dirençle karşılaşmadan iletirler. Buda süperiletken kabloların yüksek seviyelerde ve verimli bir şekilde akım taşıyabilmesine olanak sağlar. Burada problem motorlar ve güç hatlarında meydana gelen güçlü manyetik alanların var olduğu durumlarda süperiletken kabloların sık sık süperiletkenlik durumunun bozulmasıdır. Büyük manyetik alanların varlığında bir süperiletken üzerinden geçen akım elektrik direnci sonucu olarak manyetik vortex hareketlerine neden olur. Goyal ve ekibi, sadece 10 nanometre boyutunda olan nokta sütunların (columns of dots) süperiletken olmayan seramik olarak bilinen baryum zirkonatın bu duruma engel olabildiğini keşfetti. Araştırmacılar esnek metallerin en başında gelen YBCO filmlerden kendi kablolarını yarattılar. YBCO ile beraber baryum zirkonat nanonoktaların (nanodots) da bir arada olduğu bir karışım elde edildi. Baryum zirkonat ve süperiletken arasındaki etkileşme sonucu nanonoktalar otomatik olarak kolonlara dizildi. Süperiletkenlerdeki kolon bozukluğu manyetik alanın hareketine bir engel oluşturuyormuş gibi çalışır ve süperiletkenlerin yüksek manyetik alanda akım taşıyabilmesine izin verir. Bu noktaların nano ölçeği manyetik akıyı azaltmada çok önemlidir. Süperiletkenlerin birçok teknolojik uygulamasının sağlanması, bu malzemenin büyük manyetik alanlarda varlığını sürdürebilmesine bağlıdır. Güçlü manyetik alanlarda çok yüksek akım taşıyabilmesi vortexlerin hareketini engellemeyle sağlanabilir. Bunu yapmanın tek yolu vortex hareketlerini engelleyen süperiletken olmayan bölgelere sahip olmaktır. Süperiletken olmayan bölgeler yaratmak ise, nano boyutta yapılabilir. Buda, süperiletkenlikle nanoteknolojinin güzel bir uyumudur. Nanoteknolojinin ilerlemesiyle bu gerçekleştirilebilir.

2008 yılında Bozovic ve ekibi, katmanlardan meydana gelmiş biri metalik diğeri yalıtkan; kendi içlerinde süperiletken olmayan fakat, aralarındaki ara yüzeyle süperiletkenlik gösterebilen alışılmadık iki malzemeyle çalıştılar. Katman, ara yüzeyden uzak ikinci bakır oksit fazı olarak temsil edilen Zink katkılı deneyle asıl iletkenlik olarak tanımlanır. Bilim adamları; süperiletkenlik setleri 32 K civarında iken, Zink varlığının süperiletkenlik geçiş sıcaklığına – belirli katmanlara yerleştiği durumlar hariç – hiçbir etkisi olmadığını buldular. İkinci durumda ise geçiş sıcaklığının 18 K'e dikkat çekici düşüşünü gözlemlediler. Süperiletkenliğin normalde setli olduğu, yüksek sıcaklığın nispeten sorumlu olduğu tabakalı malzemedeki geçiş sıcaklığındaki düşüş, araştırmacılar için net bir belirti sağladı. Çalışılan malzemedeki süperiletkenlik için elektron gereksinimi aslında metalik malzemenin altındaki ara yüzeyden gelir. Elektronlar ara yüzeyin üstündeki yalıtkan malzemenin içine sızar ve ikinci bakır oksit katmanında kritik seviye oluştururlar. Fakat prensipte, tek katmanda aynı elektron konsantrasyonu oluşturmanın farklı yolları vardır. Örneğin; elektrik alanı uygulamayla.

Elektrik kullanımının büyük bir bölümünü elektronik cihazlar kapsamaktadır ve bu tüketim günümüzde hızla artmaktadır. Net olarak anlaşılmalıdırki; ileride mutlaka daha az enerji tüketen cihazlara ihtiyacımız olacaktır. Eğer düşünecek olursak; süperverimli çevreyle dost motorlar, yer altı iletim hatları, güç şebekelerinde devrim yaratabilecek niteliktedir. Çok kalabalık şehirlerde güç gereksinimi günden güne artmaktadır. Belkide süperiletken kablolar bu sorunu aşmanın ilerideki yolu olacaktır.

BÖLÜM DÖRT

DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu çalışmada kontrollü Mg katkılmasının $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ bileşiğine süperiletkenlik ve yapısal özellikler açısından getirdiği sonuçlar incelendi. Örnekler ara öğütme ve presleme yapılarak katı hal reaksiyon yöntemine göre hazırlandı. Direnç sıcaklık ölçümleriyle elde edilen verilerde katkılamanın süperiletkenlik geçiş sıcaklığına etkileri incelendi. Örneklerin yüzey mikro yapısı ve yüzey morfolojilerini incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekildi. X-ışını toz kırınım desenleri (XRD) yardımıyla örnekteki farklı süperiletken fazlar belirlendi.

4.1 BPSCCO Süperiletken Örnek Hazırlanması

Kontrollü Mg katkılması yapılacak malzeme yapısı $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ şeklindedir. Buradaki x değeri Mg elementinden yapılmış olan katkılamayı göstermektedir. Mg elementinden katkılacağı oranda Cu elementinden çıkarılmıştır. x değeri sırasıyla 0,00, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20 şeklinde alınmıştır. Bu malzeme geleneksel katıhal reaksiyonu yöntemiyle hazırlanmıştır. Örnekler A($x=0,00$), B($x=0,05$), C($x=0,10$), D($x=0,15$), E($x=0,20$) olarak adlandırılmıştır.

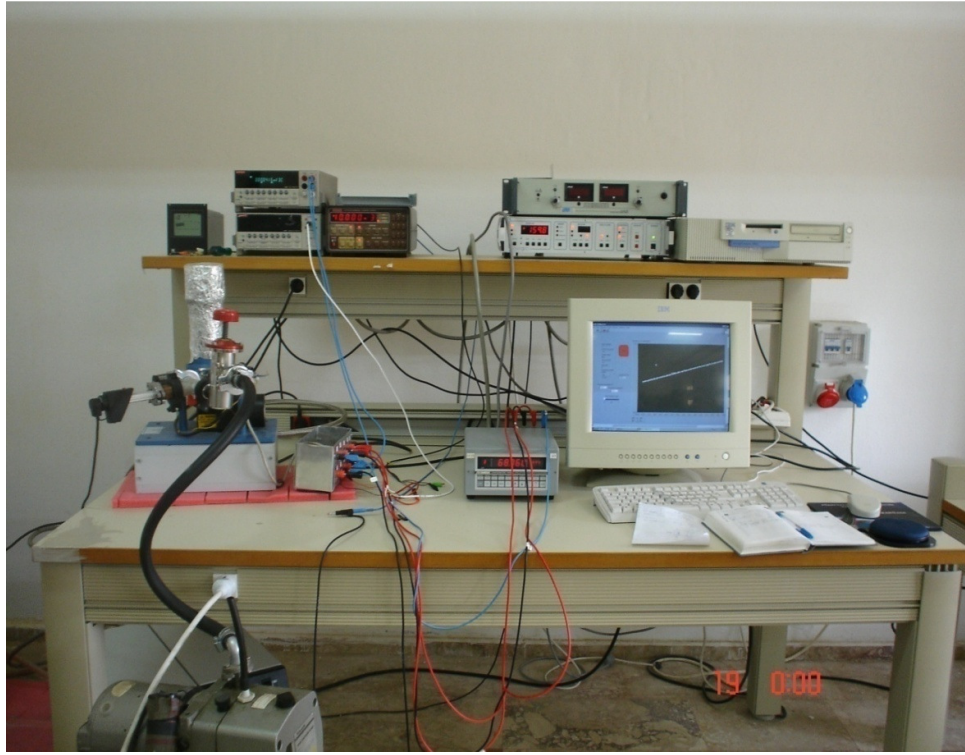
Her bir örnek belirlenen değerlerde hassas terazide ölçüldü. Bütün örnekler agat tavanında öğütülerek şematik olarak kodlandı. Örnekler iki kez kalsinasyon işlemi uygulandı. İlk kalsinasyon işleminde fırının sıcaklığı iki saat içerisinde $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkacak şekilde ayarlandı. Örnekler alümina kaplarla fırına yerleştirildi ve 20 saatlik ilk ısıtma başlatıldı.

Tablo 4.1 Hazırlanan süperiletken malzemenin katkı miktarları

Örnek	X	Bi ₂ O ₃	PbO	SrCO ₃	CaCO ₃	CuO	MgO
A	0,00	3,9606	0,6699	2,9526	2,0018	2,3864	0,0000
B	0,05	3,9606	0,6699	2,9526	2,0018	2,3466	0,0201
C	0,10	3,9606	0,6699	2,9526	2,0018	2,3068	0,0403
D	0,15	3,9606	0,6699	2,9526	2,0018	2,2670	0,0604
E	0,20	3,9606	0,6699	2,9526	2,0018	2,2273	0,0806
Toplam		19,8030	3,3480	14,7630	10,0090	11,5341	0,2014

Kalsinasyon işlemi yardımıyla; toz karışımı içerisinde oksit, karbondioksit ve yabancı maddelerin sıcaklık yardımıyla ayrılması sağlanmıştır. İlk ısıtmadan sonra örnekler tekrar öğütülür ve ikinci kalsinasyona hazırlanır. İkinci kalsinasyon; 820 °C’de 20 saat olarak uygulandı. İşlem sonunda örnekler fırın içerisinde soğumaya bırakıldı. Kalsinasyon işlemi tamamlanmış örnekler tekrar öğütülerek homojen hale getirildi. Örnekler Graseby Specac marka presleme aleti kullanılarak, 450-500 MPa’lık basınç altında pelletler haline getirildi. Pellet halindeki örneklere sinterizasyon işlemi uygulandı. Bu işlemde, fırın iki saat içerisinde 850 °C’ye çıkacak ve 150 saat 850 °C’ de kalacak şekilde ayarlandı. Sinterlemeden sonra süperiletken malzeme oluşturma aşaması sonlanır.

10 Hz olan altanetif akım uygulanır. Örnek üzerindeki potansiyel uçları ise, Lock-in yükseltece bağlanır. Lock-in yükselteç, örneğin potansiyel uçlarında oluşan gerilim farkının referans sinyali ile aynı fazlı olan kısmının etkin değerini ölçerek gerilimi yükseltir ve çıkışa iletir. Sıcaklığı ölçmek için kullanılan termometreye Kiethley 220 programlanabilir akım kaynağı kullanılarak 1mA lik akım uygulanır ve potansiyel değişimler voltmetreden takip edilir. Örnek üzerinden geçirilen alternatif akımın etkin değeri grafik üzerindeki potansiyel değerine bölünerek y eksenini $R(\Omega)$ olarak kalibre edilir.



Şekil 4.2 İYTE malzeme laboratuvarı, R-T ölçümlerinde kullanılan deney seti

BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 XRD Ölçüm Sonuçları

Bileşiminin içerdiği süperiltken ve safsızlık fazlarını belirleyebilmek için; örneklerin toz XRD desenleri Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünde elde edilmiştir. X-ışını kırınım desenleri $2\theta = 5 - 60^\circ$ arasında, CuK_α radyasyonu ile incelenmiştir. Yüksek- T_c ve alçak- T_c fazlarının pikleri Bansal ve diğer., 1991, Pandey ve diğer., 1991 tarafından verilen tablo yardımıyla belirlendi. Tüm örneklerde yüksek sıcaklık ve alçak sıcaklık pikleri birlikte gözlenmektedir. Örneklerde Bi-2223 yüksek- T_c fazının baskın olduğu gözlemlendi. Desenlerde Mg katkısı arttıkça, safsızlık fazlarının ve bu fazların şiddetlerinin arttığı gözlenmiştir.

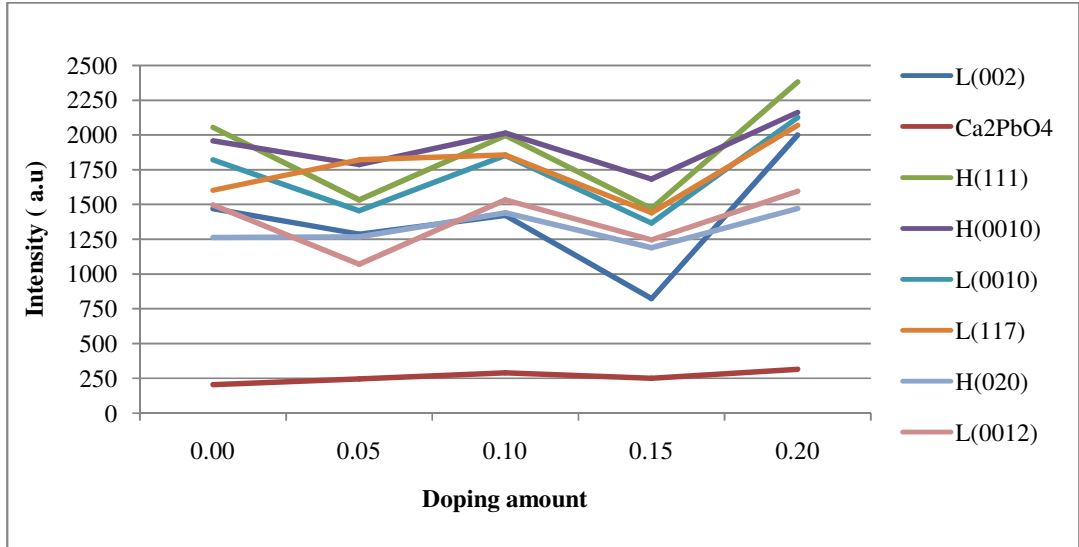
BSCCO sisteminin karakteristik piki olan $2\theta=5,7$ derecede L(002) piki tüm örneklerde gözlenmiştir. L(002) pikinin şiddeti A, B ve C örneklerinde 1470, 1286, 1420 değerlerinde iken; D örneğinde 823'e düşerek en düşük değerine, E örneğinde ise; 2000' e yükselerek en yüksek değerine ulaşmıştır. En belirgin pikler $2\theta=23-35$ derece arası gözlenmiştir. Belirgin piklerden $2\theta=23.28$ derece olan H(111) pikinin en yüksek şiddeti E örneğinde gözlenmiştir, B ve D örneklerinde ise şiddeti azalmıştır. $2\theta=27,74$ derece olan H(0010) pikide aynı şekilde en yüksek değere E örneğinde ulaşmıştır. B ve D örneklerinde düşüş vardır. Her iki piktde C örneği şiddeti arttırmaktadır. Şimdiye kadar baktığımız 3 pikte de aynı katkıya bağlı aynı değişiklikler gözlenmiştir. Buna göre katkı oranının artırılmasının bu üç belirgin pikte aynı etkiyi gösterdiği sonucuna varabiliriz.

$2\theta=29,20$ derece olan L(0010) pikinde katkı B ve D örneklerinde şiddeti azaltırken E ve C örneklerinde artmış E örneğinde en yüksek değere gelmiştir, fakat $2\theta=31,20$ derece olan L(117) pikinde ise; şiddette katkıya bağlı olarak sürekli bir artış gözlenmiştir.

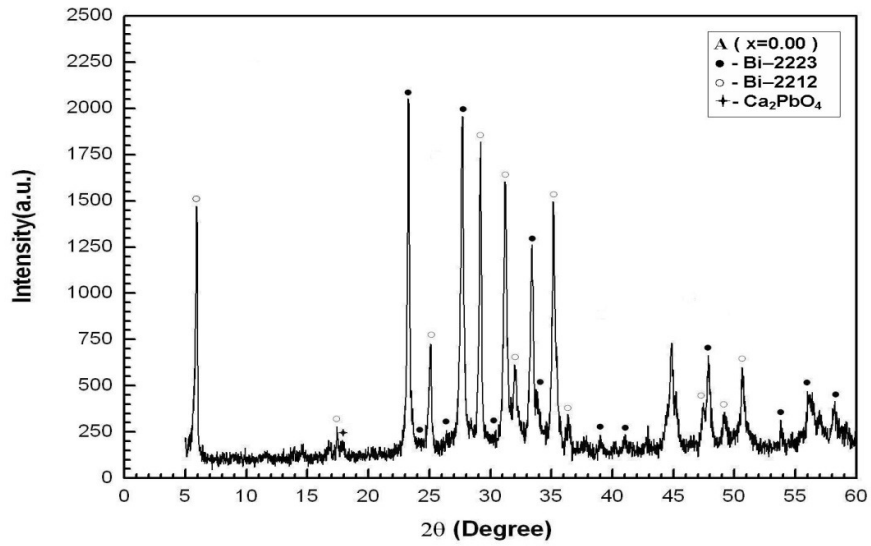
$2\theta= 33,44$ derece olan H(020) pikinde ise; A ve B örneklerinde şiddet değişmezken, C ve E de artıp, D’de ise azalmıştır. $2\theta=35,20$ derece olan L(0012) pikinde ise yine B ve D de azalma buna karşılık, C ve E’de artış gözlenmiştir. Desenlerde Mg katkısı dışında $2\theta=30,02$ derecede gözlenen CuO safsızlık fazı A örneğinde gözlenmezken; B örneğinde birden belirginleşmiş, C ve E’de şiddeti yükselirken, D örneğinde yine düşüş gözlenmiştir. Son olarak; $2\theta=17,88$ derecede gözlenen Ca_2PbO_4 safsızlık fazı B, C ve E örneklerinde şiddeti artmış, D’de ise azalmıştır.

Tablo 5.1 Katkılamaya bağlı pik şiddetlerinin değişimi

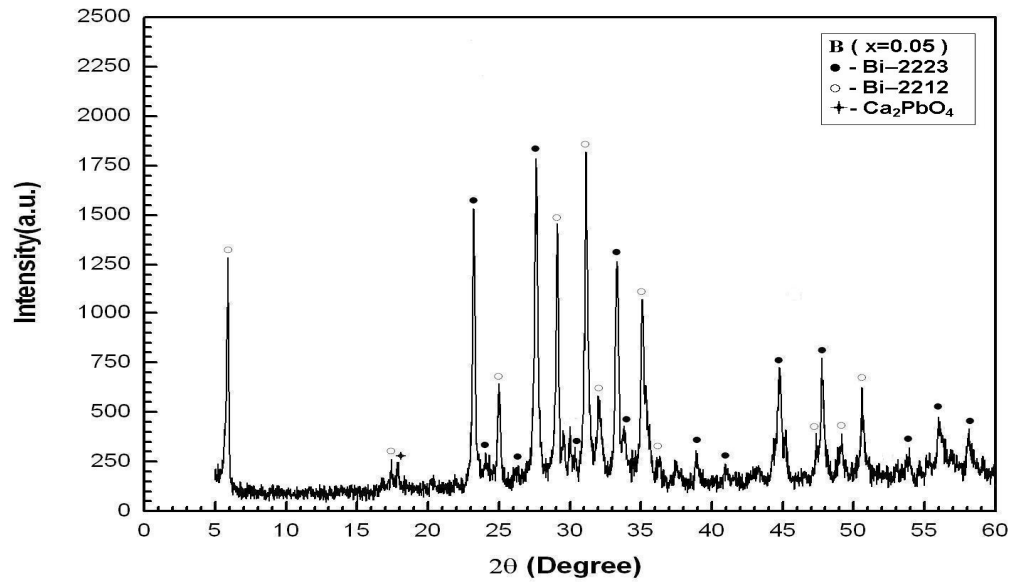
x	L(002)	Ca_2PbO_4	H(111)	H(0010)	L(0010)	L(117)	H(020)	L(0012)
0,00	1470	206	2053	1956	1820	1603	1263	1496
0,05	1286	246	1533	1786	1456	1820	1266	1070
0,10	1420	290	1996	2013	1853	1856	1440	1533
0,15	823	250	1470	1683	1366	1440	1190	1246
0,20	2000	316	2380	2163	2126	2070	1470	1596



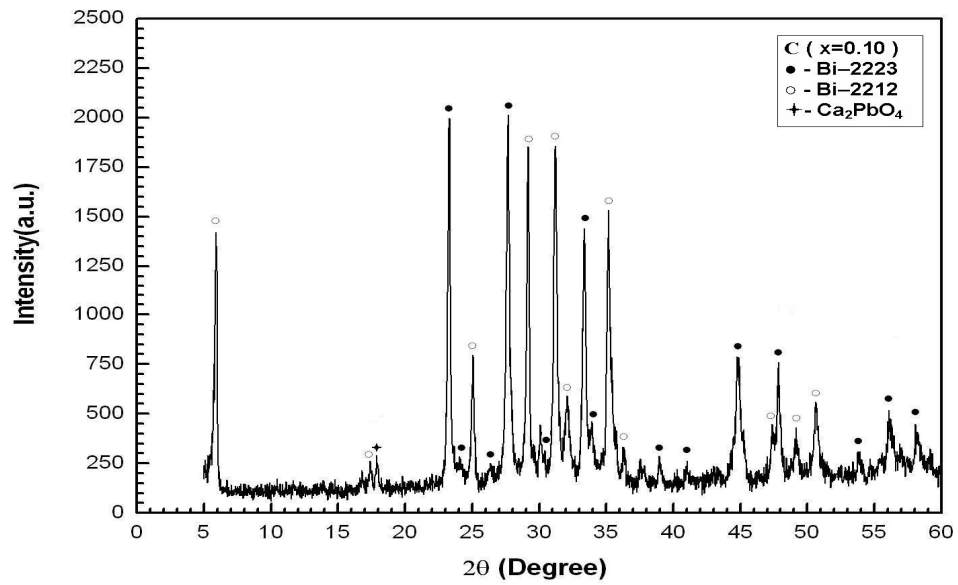
Şekil 5.1 Katkılamaya bağlı pik şiddetlerinin değişimi



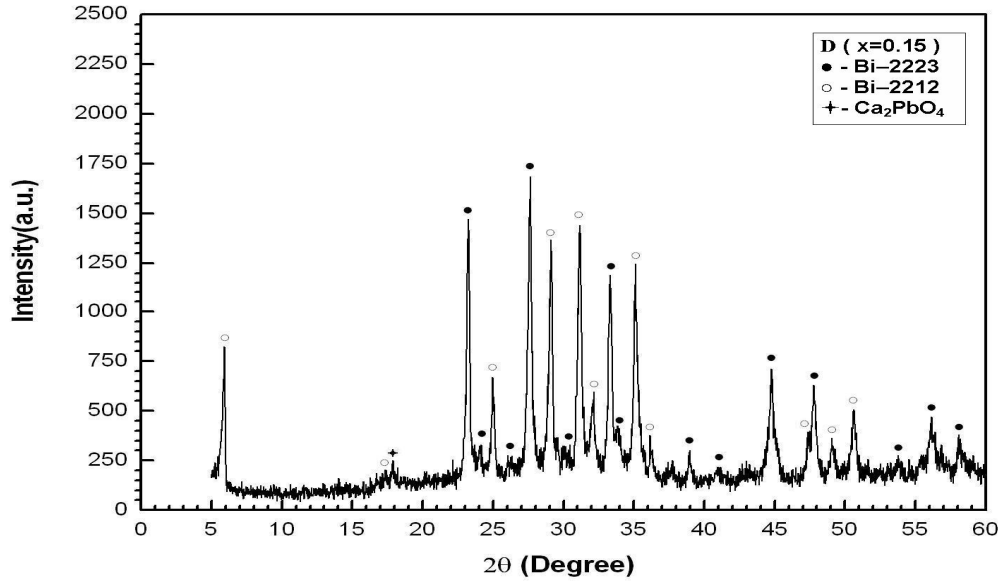
Şekil 5.2 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,00$) için XRD deseni



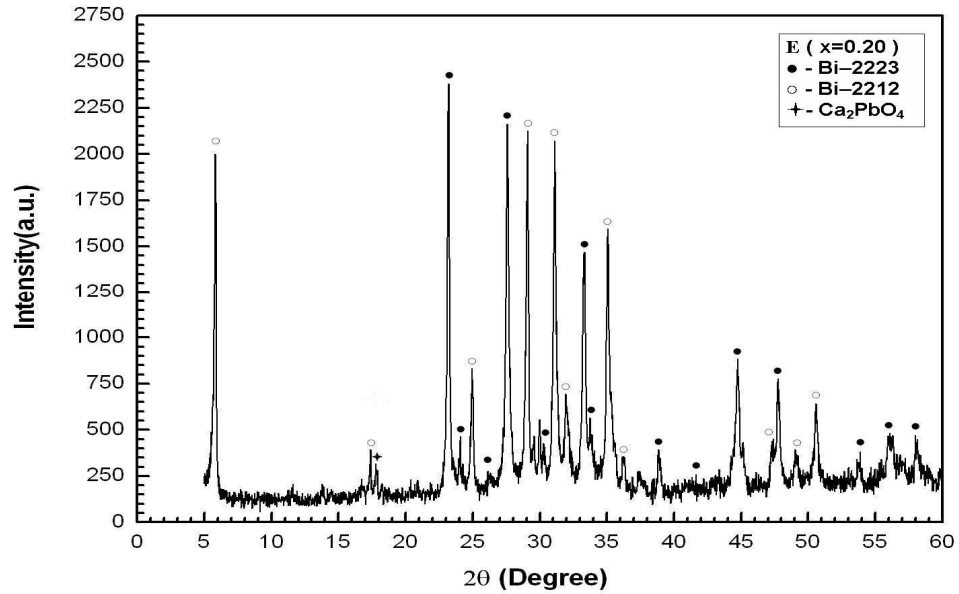
Şekil 5.3 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,05$) için XRD deseni



Şekil 5.4 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,10$) için XRD deseni



Şekil 5.5 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,15$) için XRD deseni



Şekil 5.6 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,20$) için XRD deseni

Tüm örneklerin XRD desenlerindeki piklerden yararlanarak a, b, c örgü parametreleri hesaplanmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar Bi-2223 sisteminin teorik sonuçları ($a=b=5,4$, $c=37$) ile uyum içerisinde olan tetragonal yapıdadır. $a=b=5,4063$ ve $c=37,072$ PDP programından bulduğumuz sonuçlardır. Abbasi ve ekibi (Bi,

$\text{Pb}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bileşiğine MgCO_3 ilavesinin etkilerini çalışmış ve XRD sonuçları incelendiğinde Ca yerine Mg yerdeğiştirmesi gözlenmiş ve ana faz Bi2223 fazı olarak tesbit edilmiştir. Örnekler ortorombik yapıdadır. Pik şiddetlerine göre incelendiğinde; Bi-2223 fazı katkılamayla azalırken, Bi-2212 fazı artmaktadır. Katkılamayla birlikte a ve b örgü parametrelerinde değişiklik olmazken, c örgü parametresinin uzunluğu azalmıştır ($37,30, 37,18, 37,09 \text{ \AA}$) (Abbasi ve diğer., 2009). Lu ve ekibi $\text{Bi}_{1,8} \text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_{1,9}\text{Ca}_{2,1}\text{Cu}_{3,5}\text{O}_y$ bileşiğine ($x=0, 0,5, 2, 5, 10$ ve 15) oranlarında MgO katkılamış ve MgO miktarı arttıkça Bi2223 faz şiddeti ($0 \leq x \leq 0,5$) aralığında artmış, ($0,5 \leq x \leq 15$) aralığında azalmıştır.

$x=0,5$ katkılı örnek Bi2212 fazının Bi2223 fazına en yüksek dönüşümü gözlenmiştir (Lu ve diğer., 2000). Kameli ve ekibi $\text{Bi}_{1,66} \text{Pb}_{0,34}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ bileşiğine ($x= 0, 0,2$ and $0,4$) oranlarında Mg katkılamış yapılan XRD analizlerinde ana faz Bi2223 fazı, ikincil faz ise; Bi2212 bulunmuştur. Katkılamayla c örgü parametresi azalmıştır. Birim hücredeki yüksek elektronegatifliğe sahip magnezyum daha fazla oksijen alımını teşvik eder ve tanecik sınırları aşırı katkılanmış durumdadır. Bu aşırı katkılı bölgeler tanecikler arası bağlantıyı azaltırken, Mg katkılı örneklerin zayıf bağ davranışını artırır (Kameli ve diğer., 2007). Najafpour ve ekibi $\text{Bi}_{1,66} \text{Pb}_{0,34}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$ bileşiğine (% 5, 10, 20, 30) oranlarında AgNO_3 katkılamışlardır. Katkılamamanın Bi-2223 fazına etkilerini incelemişlerdir. XRD sonuçlarına göre; Bi-2223 ve Bi2212 fazlarının hacim kesirleri Ag katkılamasıyla doğrusal olmayan şekilde değişmektedir. Bi-2223 fazı hacim kesri katkılama miktarına göre % 85, 78, 74, 58 olarak azalmaktadır. Bi-2212 fazı hacim kesri ise; % 15, 22, 26, 42 olarak artış göstermektedir. $2\theta= 27,5'$ 'te gözlenen Bi-2212 fazının şiddeti Ag katkısıyla azalmakta ve en düşük değerine %10 katkılı örnekte ulaşmaktadır. XRD sonuçlarına göre, %10 katkılı örnekte Bi-2223 fazı hacim kesri en ideal durumdadır (Najafpour ve diğer., 2009). Kocabaş ve ekibi, BiPbSrCaCuO süperiletken bileşiğinde $830 \text{ }^\circ\text{C}$ sinterleme sıcaklığında Ca yerine ($0,00-0,20$) oranlarında Zn katkılamamanın etkilerini incelemiş ve $T_{c,\text{offset}}$ sıcaklığı yalnızca 0,15 katkılı örnekte görülmüştür ve diğer örnekler sıfır dirence ulaşamamıştır. XRD sonuçlarına göre tüm örneklerde 2212 fazı görülmektedir ve bu sonuç düşük sinterleme sıcaklığının etkisi olarak düşünölmektedir (Kocabaş ve diğer., 2009).

Kocabaş ve ekibi, $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,2}\text{Sb}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bileşiğine sinterleme sıcaklığının etkilerini çalışmıştır. Sinterleme sıcaklığı 800, 820, 840, 845, 855 $^{\circ}\text{C}$ sinterleme sıcaklıkları için örnekler sırasıyla A, B, C, D ve E olarak isimlendirilmiştir. XRD sonuçlarına göre, en iyi sinterleme sıcaklığı 845 $^{\circ}\text{C}$ 'dir. Hacim kesri değerlerine bakıldığında en iyi sonuçlar yine 845 $^{\circ}\text{C}$ ' deki sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir. Bi-2223 fazı hacim kesirleri sırasıyla A, B, C, D ve E örnekleri için % 65, 67, 70, 72, 68' dir. Safsızlık fazının en düşük pik şiddeti yine 845 $^{\circ}\text{C}$ ' dedir (Kocabaş ve diğer., 2009). Bilgili ve ekibinin, $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Li}_x\text{O}_y$ sistemine Cu yerine (0,00-0,20) aralığında Li katkılama çalışmasında Bi-2223 fazı hacim kesirleri 0,05 ve 0,20 katkılı örneklerde %81'e yükselmiştir. Örgü parametrelerine bakıldığında $a=5,419 \text{ \AA}$, $b=5,376 \text{ \AA}$, $c=37,06 \text{ \AA}$ şeklinde hesaplanmıştır (Bilgili ve diğer., 2008).

Tablo 5.2 A, B, C, D, E örneklerine ait örgü parametreleri

Örnek	Mg(x)	α	β	γ	V(cm^3)	c (Å)	a=b (Å)
A	0,00	90	90	90	1083,56100	37,0725100	5,4063070
B	0,05	90	90	90	1083,56100	37,0725100	5,4063070
C	0,10	90	90	90	1083,56100	37,0725100	5,4063070
D	0,15	90	90	90	1083,56100	37,0725100	5,4063070
E	0,20	90	90	90	1083,56100	37,0725100	5,4063070

Tablo 5.3 Bi-2223 ve Bi-2212 Mg katkılı örneklerin hacim kesri

x	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20
Bi-2223(%)	50	53	51	54	55
Bi-2212(%)	50	47	49	46	45

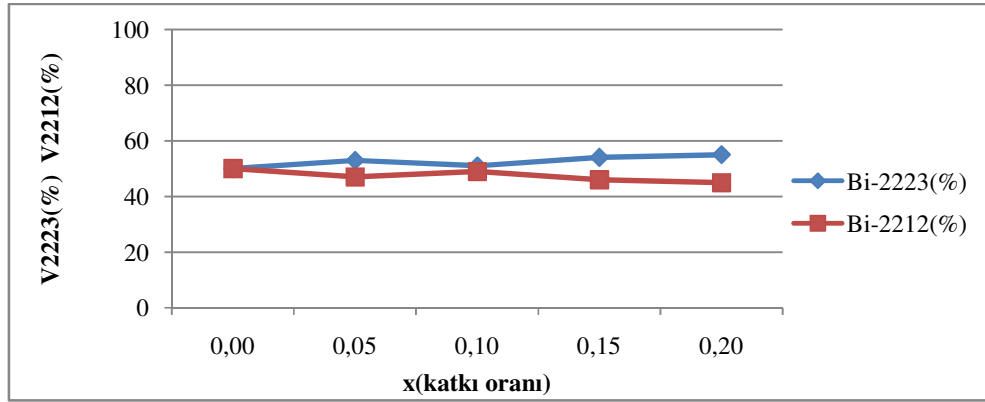
Örneklerin XRD spektrumuna bakıldığında, belirgin olan piklerin şiddetlerinden yüksek T_c (2223 fazı) ve düşük T_c (2212fazı) fazlarının hacim kesirleri hesaplanabilir. Hacim kesri, temel olarak sistemdeki T_c (2223 fazı) ve T_c (2212fazı) fazlarının hangi oranlarda oluştuğunu gösterir. Burada istenilen 2223 fazının mümkün olduğunca yüksek oranda çıkmasıdır. Hacim kesri aşağıdaki formüllerle

hesaplanır. Burada I(2223) ve I(2212) sırasıyla yüksek T_c ve düşük T_c piklerinin şiddetleridir (Gul ve diğer., 2005).

$$\Gamma_{2223} = \frac{\sum(I_{2223})}{\sum(I_{2212}) + \sum(I_{2223})} \quad (5.1.1)$$

$$\Gamma_{2212} = \frac{\sum(I_{2212})}{\sum(I_{2212}) + \sum(I_{2223})} \quad (5.1.2)$$

Sonuç olarak; katkısız örnekte 2223 ve 2212 fazı oranları eşitken, katkıya bağlı olarak 2223 fazı oranında lineer olmasada artış gözlenmiştir. B örneğinde %53, C örneğinde % 51, D örneğinde % 54 ve E örneğinde % 55 oranla 2223 fazı baskındır.



Şekil 5.7 Yüksek T_c -2223 ve düşük T_c - 2212 fazlarının hacim kesirleri

Guilmeau ve ekibinin yaptığı çalışmada; $(Bi, Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$ bileşiğine ($x= 0, 0,3, 1, 3, 5$) oranlarında toz MgO katkısı yapılarak $850^\circ C$ sinterleme sonucunda Bi2223 fazı için (%75,72, %75,02, %76,95, %78,86, %82,2), Bi-2212 fazı için (%21,62, %21,41, %20,32, %17,82, %14,04) yüzdeleri elde edilmiştir. Katkıyla Bi-2223 faz oranı arttırılmıştır. $850^\circ C$ 'nin altındaki sinterlemede toz MgO katkısı yapılsa bile Bi-2223 faz oranı düşüktür. Çünkü düşük sıcaklıklarda difüzyon süreci çok yavaştır. Bi-2223 faz yüzdesi sıcaklıkla artarken Bi-2212 faz yüzdesi sıcaklıkla azalmaktadır (Guilmeau ve diğer., 2002).

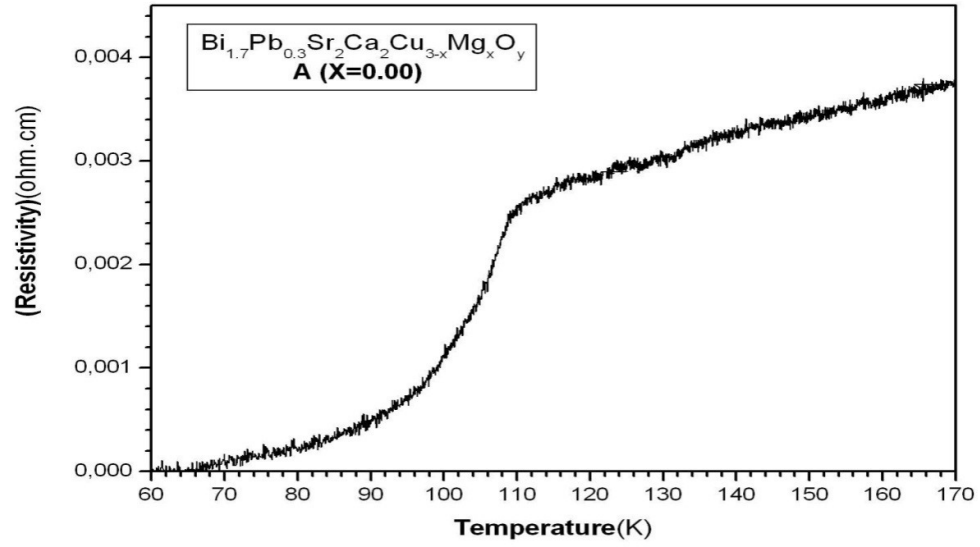
5.2 R-T Ölçüm Sonuçları

Katkısız ve Mg katkılı örneklerin elektriksel dirençlerinin sıcaklık ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12' de görüleceği gibi; Mg katkısının hem süperiletkenlik, hem de normal hal özelliklerine etki yaptığı gözlenmiştir. Görülen direnç sıcaklık eğrisine göre bütün örnekler onset sıcaklığının üstünde metalik karakterdedir.

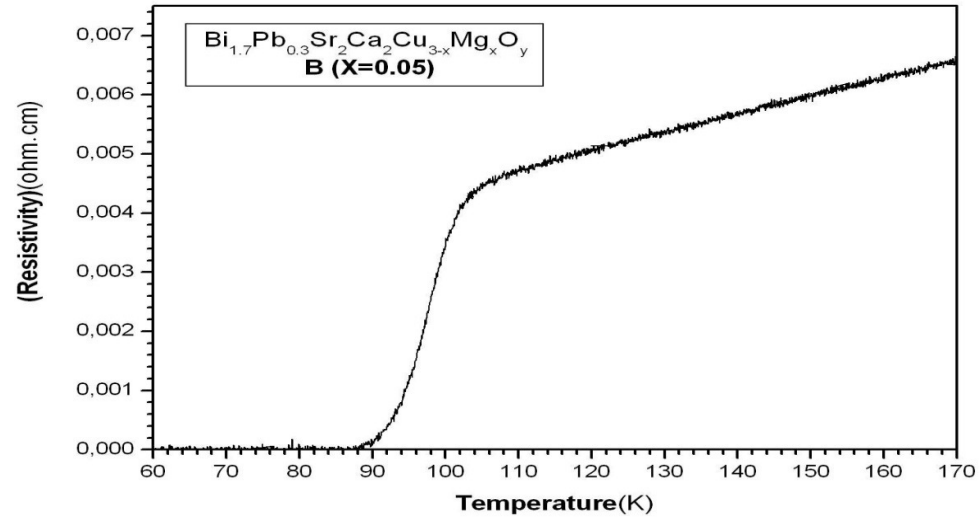
Onset sıcaklığı, direnç-sıcaklık eğrisinde lineerliğin bozulduğu sıcaklık olarak tanımlanır. A, B, C, D ve E örneklerinin onset sıcaklıkları sırasıyla 112 K, 108K, 112K, 110K, 104K' dir. Onset sıcaklığı katkısız A örneğinde yaklaşık 112 K civarındadır. Onset sıcaklığının en yüksek olduğu örneğin C ($x=0,10$) örneği olduğu gözlemlendi. $x=0,10$ katkısı arttırıldıkça Mg katkısı onset sıcaklığını olumsuz etkilemektedir. Mg katkı oranı ile ΔT_c , $T_{c,onset}$ ve $T_{c,offset}$ sıcaklığının değişimi şekil 5.13' de verilmektedir.

Tablo 5.4 Mg katkılı örneklerin kritik sıcaklıkları

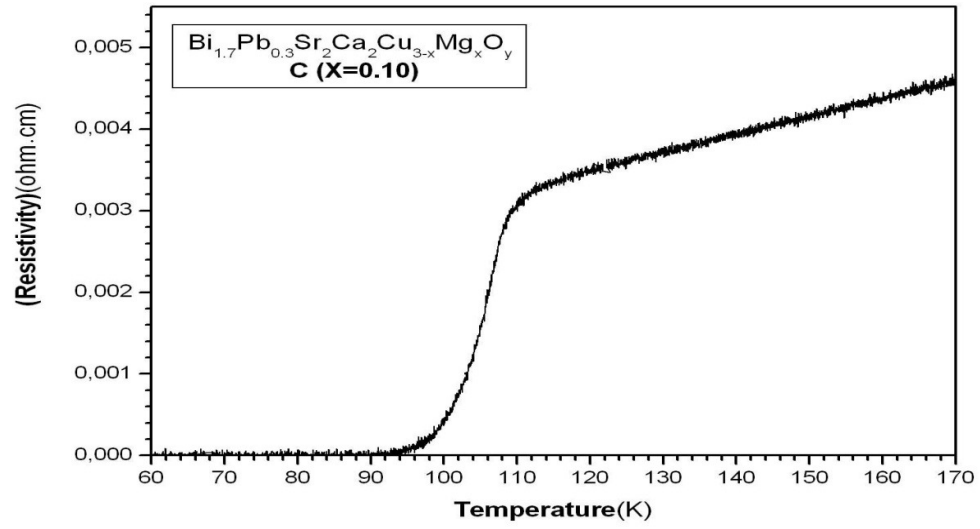
Örnek	Mg(x)	$T_{c,onset}$ (K)	$T_{c,offset}$ (K)	ΔT_c (K)
A	0,00	112	67	45
B	0,05	108	88	20
C	0,10	112	94	18
D	0,15	110	90	20
E	0,20	104	78	26



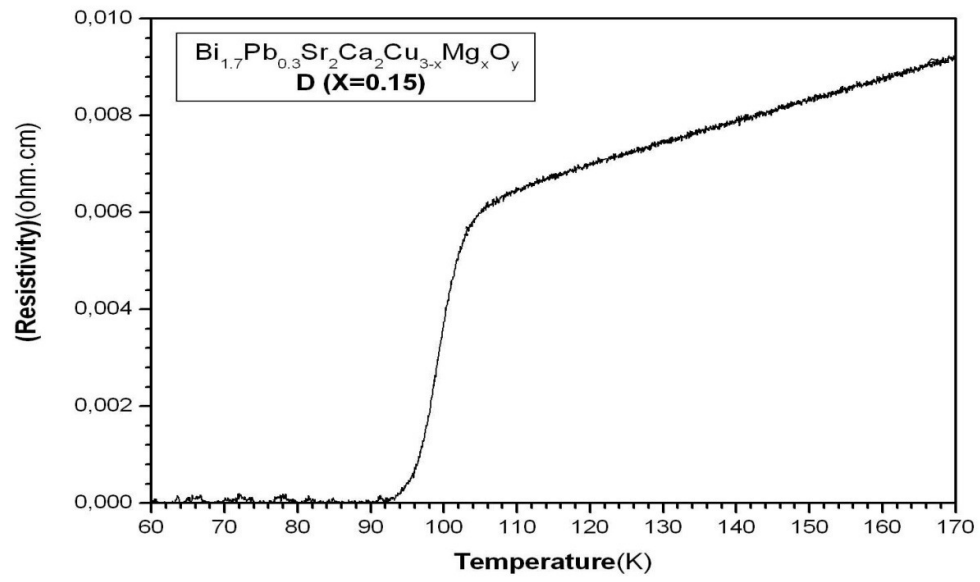
Şekil 5.8 Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr₂Ca₂Cu_{3-x}Mg_xO_y (x=0,00) örneği direnç-sıcaklık eğrisi



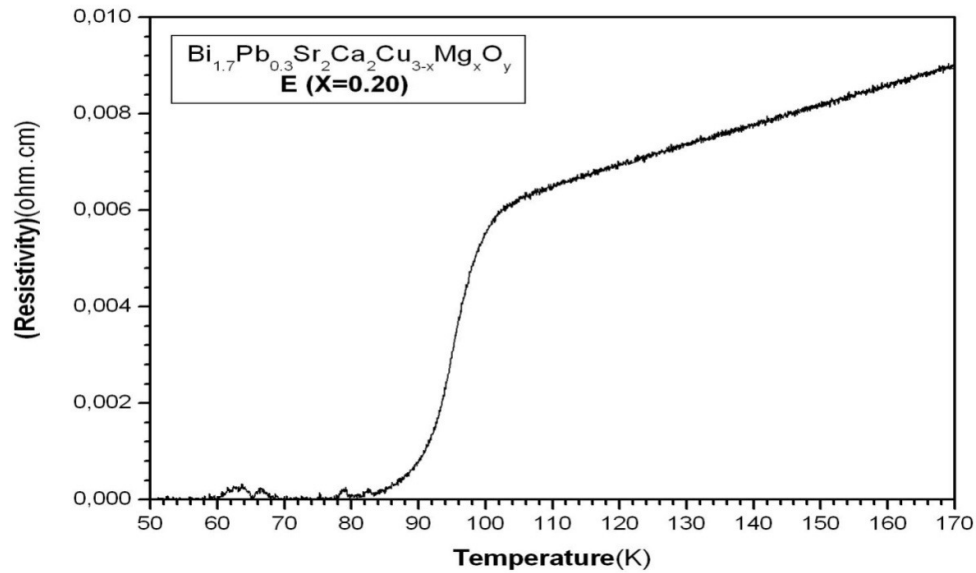
Şekil 5.9 Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr₂Ca₂Cu_{3-x}Mg_xO_y (x=0,05) örneği direnç-sıcaklık eğrisi



Şekil 5.10 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,10$) örneği direnç-sıcaklık eğrisi



Şekil 5.11 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,15$) örneği direnç-sıcaklık eğrisi

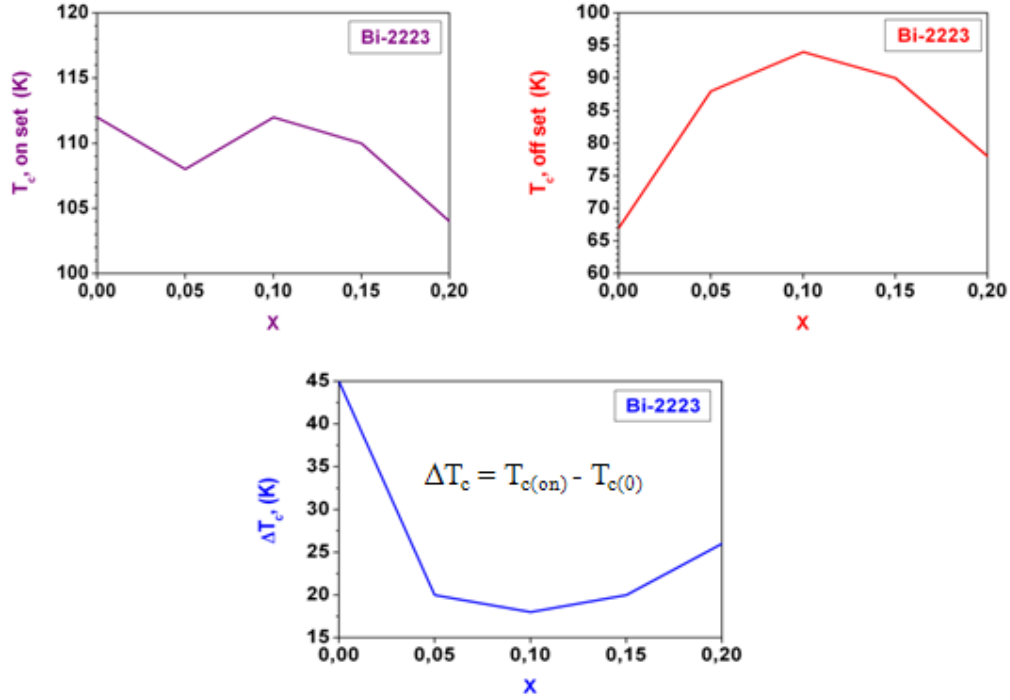


Şekil 5.12 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,20$) örneği direnç-sıcaklık eğrisi

Direncin yaklaşık sıfır olduğu sıcaklık olarak tanımlanan off set sıcaklığı, A ($x=0,00$) örneğinde 67K, B ($x=0,05$) örneğinde 88K, C ($x=0,10$) örneğinde 94K, D ($x=0,15$) örneğinde 90K ve E ($x=0,20$) örneğinde 78K olarak gözlemlendi. Katkı oranının artması kritik sıcaklığı B, C ve D örneklerinde olumlu yönde etkilemektedir. E örneğinde ise; yine olumlu bir değişim fakat diğerlerine nazaran daha düşük bir değer gözlemlenmiştir. Bu da katkı oranının artmasıyla yüksek sıcaklık fazlarının azaldığı ya da safsızlık fazlarının arttığına bir göstergesi olabilir. Bu düşüncemiz XRD desenleri ile de desteklenmektedir. Süperiletken karakteristiği belirten diğer bir fiziksel nicelik ise, ΔT_c geçiş sıcaklık aralığıdır ve $\Delta T_c = T_{c(\text{on})} - T_{c(0)}$ olarak tanımlanır. Kaliteli bir örnekte bu aralığın dar olması beklenir. Katkısız örnek A ve Mg katkılı örnekler B, C, D ve E'nin ΔT_c geçiş sıcaklıkları sırasıyla 45K, 20K, 18K, 20K, 26K olarak belirlenmiştir. Şekil 5.13' de ΔT_c geçiş sıcaklığının x katkı oranına göre değişimi gösterilmiştir. Katkıyla birlikte geçiş aralığında daralma gözlemlenmiştir.

Grafikler incelendiğinde $x=0,10$ Mg katkılı olan C örneğinde ΔT_c geçiş aralığının minimum olduğu ve buna karşılık onset sıcaklığının maksimum olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca maksimum Mg katkılı E örneğinde de, ΔT_c 'nin maksimum

olduğu ve onset sıcaklığının da minimum değerde olduğu görülmektedir. Bu da onset sıcaklığı ile geçiş aralığının birbiri ile yakından ilintili olduğunun göstergesidir. Onset sıcaklığının artmasının ΔT_c geçiş aralığını azaltabileceği söylenebilir.



Şekil 5.13 ΔT_c kritik sıcaklık, $T_{c,onset}$ ve $T_{c,offset}$ sıcaklıklarının Mg katkısı ile değişimi

Abbasi ve ekibi, $(Bi, Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ bileşiğine $MgCO_3$ ilavesinde katkılama ile onset sıcaklığın düştüğünü tesbit etmiştir. Artan manyetik alan uygulamakla normal durum dirençleri değişmemiştir. Fakat direnç geçiş aralığı, artan manyetik alan ve artan katkılamayla beraber genişlemiştir. Genişleme miktarı arttıkça offset sıcaklıkları düşmüştür. Bu da iğneleme kuvvetine ya da manyetik alanın büyüklüğüne bağlıdır (Abbasi ve diğer., 2009). Najafpour ve ekibi, $Bi_{1,66}Pb_{0,34}Sr_2Ca_2Cu_2O_x$ bileşiğine (% 5, 10, 20, 30) oranlarında $AgNO_3$ katkılamışlardır. R-T sonuçlarına göre; katkılamayla beraber $T_{c,onset}$ sıcaklıkları 123,5, 124, 119,5, 115,9 K değerlerine düşmüştür.

Bileşiğin içerisindeki herhangi bir değişiklik direnci çok hassas olarak değiştirebilmektedir. Örneklerdeki artan Ag içeriği Bi-2223 faz yapısını bozmaktadır (Najafpour ve diğer., 2009). Bilgili ve ekibi, $Bi_{1,7}Pb_{0,3}Sr_2Ca_2Cu_{3-x}Li_xO_y$ sistemine Cu

yerine (0,00-0,20) aralığındaki miktarlarla Li eklenmesiyle $T_{c,onset}$ sıcaklığı değişmemiş tüm örneklerde 110K'de geçiş gözlenmiştir. Katkılamayla $T_{c,offset}$ sıcaklığı 0,00 katkılı örnekte 70K iken 0,20 katkılı örnekte 98 K olarak doğrusal bir artış göstermiş; bununla beraber geçiş aralığı katkıya bağlı olarak daralmıştır (Bilgili ve diğer., 2008).

5.3 SEM Sonuçları

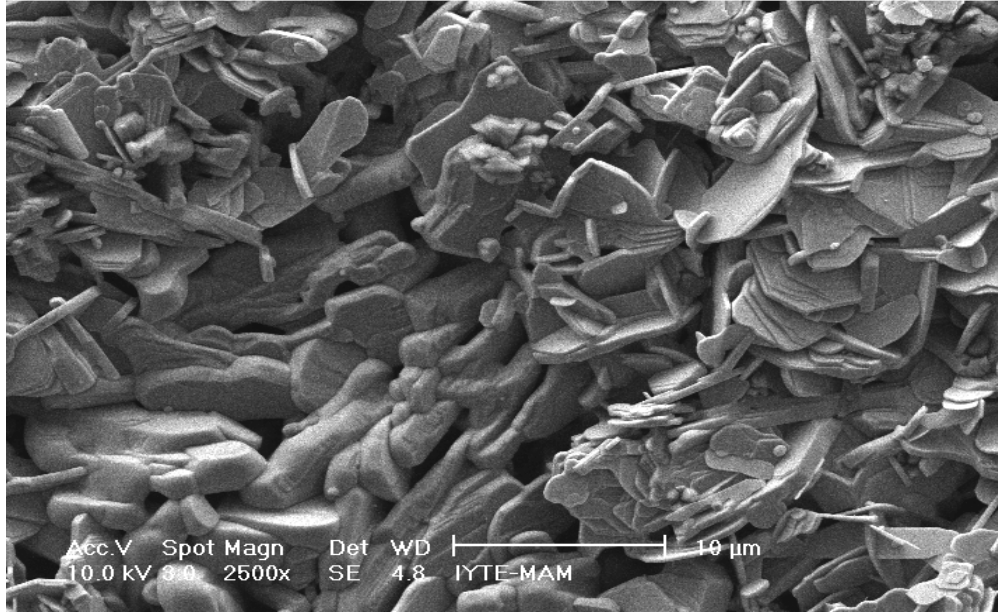
Seramik süperiletkenlerdeki yüksek geçiş sıcaklığı ve düşük kritik akım yoğunluğunun en önemli nedeni tanecikli yapılardır. Bu tanecikli yapılar SEM fotoğrafları ile açıkça gözlenebilir. Bu küçük tanecikler arasındaki zayıf bağlar, kırıklar, çatlaklar, tortular, süperiletken olmayan farklı safsızlıklar ve daha düşük geçiş sıcaklığına sahip süperiletken fazlar olabilir. Bu zayıf bağların meydana gelme sebepleri; küçük tanecik sınırlarındaki düzgün olmayan yönelimler, boşluklar, oksijen eksikliği ve bileşimdeki değişimler olabilir (Salamati ve Kameli,2004).

Örneklerde tüm tanecikler rastgele yönelmiş ve tanecik sınırları birbirleri ile zayıf bağlar oluşturacak şekilde temas halinde gözükmektedir. Bu da yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin en karakteristik özelliklerinden biridir. Katkısız A örneğinde tabakalı ve homojen bir yapı oluşmuştur.

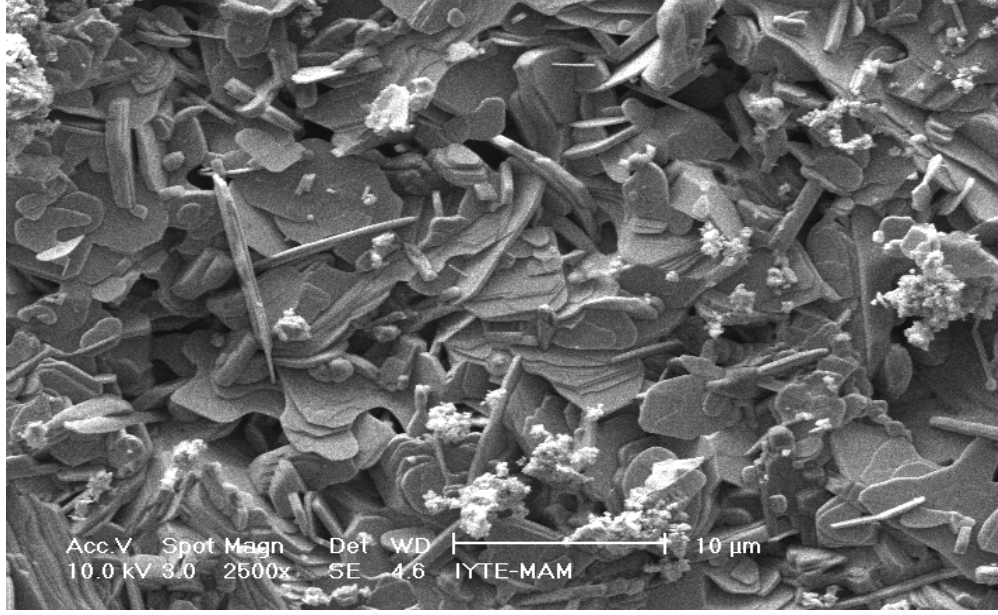
Büyük parçaların (~15 μm boyutunda tanecikler gözlenmekte) oluşturduğu grainlerin rastgele yöneldiği ve boşlukların varlığı görülmektedir. A örneğine göre; katkılı B örneğinde homojenliğin biraz daha bozulduğu gözlenmektedir. Katkı oranının arttığı C örneğinde uzun ince yapılar ve daha açık renk bazı kümelenmiş yapılar dikkati çekmektedir. D örneğinde bu kümeler kaybolmuş fakat uzun ince yapılar devam etmektedir. XRD sonuçlarında da ortaya çıkan safsızlıkların bu kümelere neden olduğunu düşünebiliriz. Katkılı örneklerde tabakalı yapı giderek bozulmuş ve tanecik boyutları da oldukça küçülmüştür. A örneğinde büyük tanecikler gözlenirken maksimum Mg katkılı E örneğinde taneciklerin küçüldüğü gözlenmiştir.



Şekil 5.14 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,00$) SEM görüntüsü



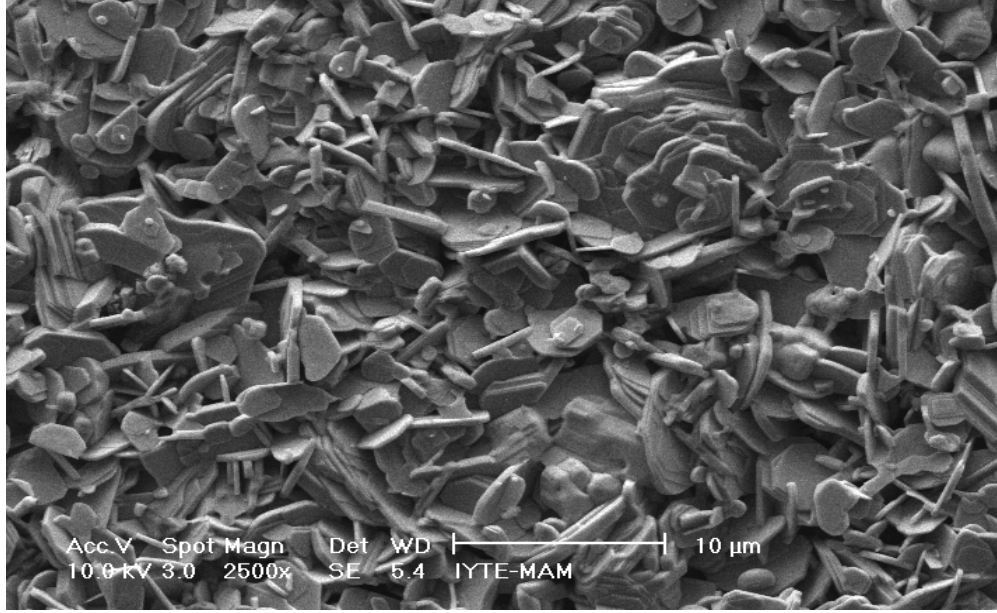
Şekil 5.15 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,05$) SEM görüntüsü



Şekil 5.16 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ (x=0,10) SEM görüntüsü



Şekil 5.17 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ (x=0,15) SEM görüntüsü



Şekil 5.18 $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ ($x=0,20$) SEM görüntüsü

5.4 Yoğunluk

Farklı magnezyum katkıları ile oluşturulmuş örneklerin yoğunluklarını Arşimed prensibinden saf sudaki ve hava ortamdaki ağırlık farkına göre belirledik. Saf su içine konan örneğe bir kaldırma kuvveti etki eder. Bu kuvvetin değeri, örnek ile yer değiştiren saf suyun ağırlığına eşittir. Her iki ortamda da örneğin ağırlığını ölçebilmek için; Sartorius marka yoğunluk ölçüm kiti, Scaltec marka hassa terazi üzerine kuruldu ve eşitliği kullanılarak hesaplandı.

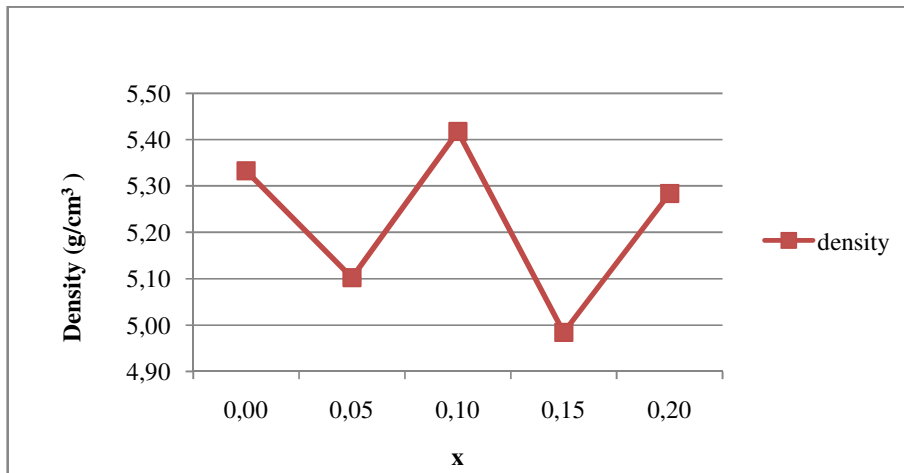
$$\rho = \frac{W(h)[\rho(s) - \rho(h)]}{0.99983[W(s) - W(h)]} + \rho(h) \quad (5.4.1)$$

Bu eşitlikte gösterilen $\rho(h)$, $W(h)$ ve $\rho(s)$, $W(s)$ terimleri sırayla; hava ve saf su yoğunlukları ve bu ortamlardaki ağırlıklarını göstermektedir. Şekil 5.19'da yoğunluğun x katkı oranına göre değişimi gösterilmektedir. Yoğunluk katkıya bağlı olarak lineer bir artış göstermemektedir. Arşimed yöntemi kullanılarak yapılan ölçümlerde A örneği için yoğunluk ölçümü $5,3326 \text{ g/cm}^3$, B örneği için $5,1025 \text{ g/cm}^3$,

C örneği için $5,4177 \text{ g/cm}^3$, D örneği için $4,9847 \text{ g/cm}^3$ ve E örneği için $5,2841 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. BPSCCO sisteminin teorik yoğunluğu örgü parametrelerinden $6,3 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır (Yang X. & Chaki T.K., 1993).

BSCCO sisteme Sb katkısı incelenmiş başka bir çalışmada, Arşimed metodu ile bulunan yoğunlukların $5,1-5,4 \text{ g/cm}^3$ aralığında olduğu rapor edilmiştir (Kocabaş ve Çiftçioğlu, 2000). Kocabaş ve ekibi $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,2}\text{Sb}_{0,1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ bileşiğine sinterleme sıcaklığının etkilerini çalışmasında, yoğunluk sonuçları sinterleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak $5,1431, 5,1934, 5,1032, 5,4304, 5,4323 \text{ g/cm}^3$ değerlerindedir. En iyi yoğunluk sonucu $845 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de elde edilmiştir (Kocabaş ve diğer., 2009).

Bilgili ve ekibi, $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Li}_x\text{O}_y$ sistemine Cu yerine, (0,00-0,20) aralığındaki miktarlarla Li eklenmesinin sonuçlarını araştırmışlardır. Yoğunluk değerleri; katkılama oranı arttıkça, azalmıştır. $5,4881, 5,4529, 5,4377, 5,1934, 5,1482 \text{ g/cm}^3$ değerleri elde edilmiştir (Bilgili ve diğer., 2008).



Şekil 5.19 $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ (0,00-0,20) örneklerin yoğunluklarının katkılama oranı ile değişimi

BÖLÜM ALTI

SONUÇ

6.1 Genel Sonuç

Bu çalışmada $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Mg}_x\text{O}_y$ bileşiği değişen oranlarda ($x=0,0-0,20$) Mg katkılanarak katıhal reaksiyon yöntemiyle hazırlandı. Mg katkısının süperiletkenlik üzerindeki etkileri yapılan deneylerle incelendi. Örneklerin süperiletkenlik fazına geçtikleri kritik sıcaklığı belirlemek için, direnç-sıcaklık ölçümleri yapıldı. Elde edilen verilerle direnç-sıcaklık grafikleri çizilerek T_c geçiş sıcaklığı ve ΔT_c geçiş aralığı tespit edildi. Süperiletken malzemenin faz özelliklerini ve katkılamaya bağlı faz şiddetlerindeki değişimleri belirleyebilmek için; CuK_α ışınımı kullanılarak elde edilen XRD desenleri incelendi. Katkılamanın, süperiletken bileşiğin tanecikli yapısında meydana getirdiği değişiklikler SEM görüntülerinden incelendi.

Örneklerimizin XRD sonuçlarına göre Bi-2223 fazı ana faz, Bi-2212 fazı ise ikincil faz durumundadır. Katkılamaya bağlı olarak yüksek- T_c pik şiddetlerinde genel olarak artış görülmektedir. XRD analizlerinden elde edilen Bi-2223 ve Bi-2212 fazlarına ait piklerden faydalanarak a, b, c örgü parametreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen değerlerle örtüşmektedir. Örneklerin direnç-sıcaklık eğrilerinden elde edilen verilere göre kritik sıcaklıkları 110 K civarındadır. Direncin yaklaşık sıfır olduğu kritik sıcaklıklar, A ($x=0,00$) örneğinde 67K, B ($x=0,05$) örneğinde 88K, C ($x=0,10$) örneğinde 94K, D ($x=0,15$) örneğinde 90K ve E ($x=0,20$) örneğinde 78K olarak gözlemlendi.

Onset sıcaklığının en yüksek değeri C örneğinde ($x=0,10$) gözlemlendi. $x=0,10$ katkısı arttırıldıkça Mg katkısı onset sıcaklığını olumsuz etkilemektedir. XRD sonuçlarındaki safsızlıklar; SEM görüntülerindeki kümelenmiş yapılarla desteklenmektedir.

Katkılama oranı arttıkça, tabakalı yapı giderek bozulmuş ve tanecik boyutları oldukça küçülmüştür. Tanecik sınırlarının birbirleri ile zayıf bağlar oluşturacak şekildeki teması gözlemlenebilmektedir. ΔT_c geçiş sıcaklık aralığının katkılamaya bağlı olarak daralması; bize, magnezyum katkılamanın süperiletkenlik özellikleri iyileştirmede olumlu bir etkisi olduğunu düşündürebilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, H., Taghipour, J., Sedghi, H. (2009). The effect of $MgCO_3$ addition on the superconducting properties of Bi2223 superconductors. *Journal of Alloys and Compounds*, 482 552-555
- Askerzade, İ. (2005). *Süperiletkenlik fiziğine giriş*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Bednorz , J. G., Müler K. A. (1986). Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. *Z. phys.B-Condensed matter* , 64,189-193.
- Bilgili, Ö., Selamet, Y., Kocabaş, K. (2008). Effect of Li substitution in Bi-2223 superconductors. *J Supercond Nov Magn*, 21: 439-449.
- Guilmeau, E., Andrzejewski, B., Noudem, J. G. (2002). The effect of MgO addition on the formation and superconducting properties of the Bi-2223 phase. *Physica C*, 387 382-390
- Gul, I. H., Amin, F., Abbasi, A. Z., Anis-ur-Rehman, M., Maqsood, A. (2006). Effect of Ag_2CO_3 addition of the morphology and physical properties of Bi-based (2223) high- T_c superconductors. *Physica C*, 449 139-147
- Gul, I. H., Rehman, M. A., Ali, M., Maqsood, A. (2005). Effect of vanadium and barium on the Bi-based (2223) superconductors. *Physica C*, 432 71-80
- Kameli, P., Salamati, H., Abdolhosseini, I. (2008). AC susceptibility study $Bi_{1,66}Pb_{0,34}Sr_2Ca_{2-x}Mg_xCu_3O_y$ ($x=0,0.2, \text{ and } 0.4$) superconductor systems. *Journal of Alloys and Compounds*, 458 61-65

- Kameli, P., Salamati, H., Abdolhosseini, I., Sohrabi, D. (2007). Thermally activated flux creep in the $\text{Bi}_{1.66}\text{Pb}_{0.34}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Mg}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductor. *Physica C*, 468 137-141
- Kittel, C. (1996). *Katıhal fiziğine giriş* (6. Basım). (B. Karaoğlu, Çev.). İstanbul: Güven Yayınları
- Kış, Çam, E. (2006). *BiPbSrCaCuO seramik süperiletkenlerde onset sıcaklığının katkı oranlarına göre değişimi*. Yüksek lisans tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.93 s.
- Kocabaş, K. (1998). Efect of Sintering Time On Sb added BiPbSrCaCuO superconducting ceramics. *Tr. J. of Physics*. 22, 437-440.
- Kocabaş, K., Bilgili, O., Yaşar, N. (2009). The effect of sintering temperature in $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.2}\text{Sb}_{0.1}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors. *J Supercond Nov Magn*, 22: 643-650.
- Kocabaş, K. & Çiftçioğlu, M. (2000). The effect of Sb substitution of Cu in $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Sb}_x\text{O}_y$ superconductors. *phys. stat. sol. (a)* 177, 539.
- Kocabaş, K., şakiroğlu, S., Çiftçioğlu, M., Ercan, İ., Epik, H., Bilgili, O. (2009). The effect of Zn substitution of Ca in BiPbSrCaCuO superconductors sintered 830 °C. *J Supercond Nov Magn*, 22: 749-454.
- Lu, X. Y., Nagata, A., Kamio, D., Sugawara, K., Kamada, S., Watanabe, K., Hanada, S. (2000). Effect of MgO content on the formation and superconducting properties of (Bi,Pb)-2223 phase in the partial-melting and sintering process. *Physica C*, 357-360 828-831

- Maple, M. B. (1998). High- temperature superconductivity. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 177-181, 18-30
- Mihalache, V., Aldica, G., Popa, S., Liferi, F., Miu, D. (2004). Effect of Li_2CO_3 addition on the $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{1.5}\text{Ca}_{2.5}\text{Cu}_{3.6}\text{O}_x$ superconducting system. *Materials Letters*, 58 3040-3044
- Najafpour, H., Shojaei, S. H. R., Shojaei, S. M. (2009). The effect of AgNO_3 addition on the formation and superconducting properties of Bi-2223 phase. *J Supercond Nov Magn* DOI 10.1007/s 10948-009-0603-5.
- Nano world: superconducting wires, (April 1, 2006). Retrieved January 09, 2010, from <http://www.physorg.com/news63109068.html>
- Pinning Down Superconductivity to a Single Layer, (October 29, 2009). Retrieved January 30, 2010, from <http://www.physorg.com/news176045082.html>
- Poole, C. P., Jr. (2000). *Handbook of superconductivity*. Academic Press: United States of America.
- Researchers use nanodots to boost superconductivity, (April 1, 2006). Retrieved January 09, 2010, from <http://www.physorg.com/news63384850.html>
- Salamati, H. & Kameli, P. (2004). The effect of Bi-2212 phase on the weak link behavior of Bi-2223 superconductors. *Physica C*, 403, 60-66.
- Serway, R. A. (1996). *Fen ve Mühendislik için Fizik* (Cilt 3). (K. Çolakoğlu, Çev.). Ankara: Palme Yayıncılık.

- Smrckova, O., Sykorova, D., Rubesova, K., & Vasek, P. (2002). Superconducting properties of Bi-based ceramics with column 3A elements. *Physica B*, 321, 292-294
- Sykorova, L. D., Smrckova, O., & Jakes, V. (2004). Effect of doping on properties of Bi-based superconductors. *Phys. Stat. Sol. (C) 1*, No. 7, 1952 - 1956.
- Sykorova, D., Smrckova, O., Rubesova, K., & Knizek, K. (2002). Influence of B, Al, Ga, In on the composition of Bi(Pb)SrCaCuO system. *Physica B*, 321, 295-297.
- Taylor, J. R., & Zafaritos, C. D. (1996). *Fizik ve mühendislikte modern fizik*. (B. Karaoğlu, Çev.). İstanbul: Arte Güven Yayınları
- Tepe, M. (1997). *AC manyetik süseptibilite ölçüm yöntemiyle yüksek sıcaklık süperiletkenlerine katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 91 s.
- Yang, X., & Chaki, T. K. (1993). Hot rolling of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ superconducting pellets. *Superconductor Science and Technology*, Vol. 6, 343.
- Yilmazlar, M., Cetinkara, H. A., Nursoy, M., Ozturk, O., Terzioğlu, C. (2006). Thermal expansion and Vickers hardness measurements on $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors. *Physica C*, 442 101-107