

**BİSMUT TABANLI SÜPER İLETKEN TEL ŞERİTLERİN
ÜRETİLMESİ: MAGNET SARIMI VE KARAKTERİZASYONU**

Ali ERDUMAN

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS
DERECESİ İÇİN GEREKLİ ÇALIŞMALARI YERİNE GETİRİLEREK
ONAYA SUNULAN TEZ**

OCAK 2008

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof. Dr. Demet KAYA

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans Derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Yrd. Doç. Dr. Recep Demirci

Elektrik Eğitimi Bölüm Başkanı

Bu tezin Yüksek Lisans Derecesinde bir tez olarak onaylanması, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Prof. Dr. İsmail ERCAN

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1. Prof. Dr. İbrahim BELLENLİ

2. Prof. Dr. İsmail ERCAN

3. Yrd. Doç. Dr. Recep DEMİRCİ

ABSTRACT**PRODUCTION OF BISMUTH BASED ON SUPERCONDUCTOR TAPES:
WINDING AND CHARACTERIZATION****ERDUMAN, ALİ**

Master of Science, Department of Electrical Education

Advisor: Prof. Dr. İsmail ERCAN

JANUARY 2008,71 pages

In this work, the history of high temperature superconductors are explained then some of the basic definitions are emphasized. The BSCCO-based superconductor material that is the main topic of the thesis, is filled into the silver tube. The filled silver tubes are drawn with the drawing machine using a number of dies with decreasing diameters. After drawing the composite wires are deformed into tapes. These superconductor tapes are insulated with different chemical mixtures, wound into coils. These coils were made as a primary and a secondary coils forming a transformer. I-V characteristics and performance of the transformer were tested at room temperature and at 77 K.

Keywords: Superconductor Tape, Magnet, Bismuth

ÖZET

BİSMUT TABANLI SÜPERİLETKEN TEL ŞERİTLERİN ÜRETİLMESİ: MAGNET SARIMI VE KARAKTERİZASYONU

ERDUMAN, ALİ

Yüksek Lisans, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail ERCAN

OCAK 2008, 71 Sayfa

Bu çalışmada, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin genel olarak tarihi gelişiminin incelenmesinin ardından süperiletkenliğin anlaşılmasında temel olan tanımlar anlatılmış ve tezin ana konusu olan, BSCCO tabanlı süperiletken malzeme, gümüş borulara çeşitli yöntemler ile doldurulmuştur. Doldurulan bu gümüş borular değişik hadde çaplarda inceltilerek tel haline getirilmiş, tel halindeki gümüş borular büyük haddede ezilerek şerit formuna sokulmuştur. Süperiletken şeritler çeşitli kimyasal karışımlar ile yalıtılmış ve bu yalıtılmış şeritlerin 77 Kelvin de I-V karakterizasyonu incelenmiştir. Şeritler bir bobin şekline getirilerek normal koşullarlarda ve 77 Kelvin de I-V karakterizasyon incelemeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süperiletken şeritler , karakterizasyon, Bizmut

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında, değerli bilimsel görüş ve önerilerinden yararlandığım Prof. Dr. İsmail ERCAN'a teşekkür eder ve minnet duygularımı sunarım. Tez çalışmamda Laboratuvar koşullarının hazırlanmasında ve çalışmalarım esnasında teknik konularda yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İbrahim BELENLİ, AİBU Fizik Bölümü Araştırma Görevlilerine, Ersin YÜCEL'e ve tezin yazılıp hazırlanmasında bana yardımcı olan değerli Belkıs Kılıç'a teşekkürü borç bilirim.

ÖNSÖZ

Süperiletkenlik belli koşullar altında direncin sıfır olması olarak tanımlanmaktadır. Elektrik, elektronik ve diğer bilimlerde yaratacağı ciddi etkilerden dolayı, bu konu günümüzün araştırma ve incelenme konularının başında gelmektedir. Elektrik direncinin olmaması durumunda transformatör ve elektrik motorlarının hacimleri küçülecek buna karşın iş yapa bilme kapasiteleri artacaktır. Elektrikli taşıma sistemlerin taşıma şekli değişecek böylece yüksek hız ve konforda taşımacılık yapılabilecektir. Elektronik malzemelerin ebatları küçülecek böylece daha hızlı işlemcili fakat daha küçük ebatlı bilgisayarlar yapılabilecektir. Bu sebepler bilim adamlarını ileri teknoloji ürünü olan ve uzun yıllardan beri gerek teorikçilerin gerekse deneycilerin araştırmakta olduğu süperiletkenlik konusuna yönlendirmiştir. Biz bu çalışmamızda bizmut tabanlı süperiletken şeritlerin üretilmesi ve bu iletkenlerden trafo yapılması üzerinde çalışarak süperiletkenlik konusunda ülkemiz bilimine katkıda bulunmayı amaçladık.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ABSTRACT.....	iii
ÖZET	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 SüperiletkenliğinTarihçesi.....	2
1.2 Süperiletkenlerin Özellikleri	4
1.2.1 Sıfır direnç.....	4
1.2.2 Kritik Sıcaklık T_c	5
1.2.3 Kritik Manyetik Alan.....	6
1.2.4 Meissner Olayı	7
2. SÜPERİLETKENLİK TEORİLERİ.....	9
2.1 London Teorisi.....	9
2.2 BCS Teorisi.....	13
3. SÜPERİLETKEN ŞERİT YAPIMI.....	15

3.1 Süperiletken $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ (Bi-2223), $T_c \sim 110 \text{ K}$	15
3.2 Süperiletken tel şeritlerin üretilmesi.....	17
3.2.1 1. Örneğin hazırlanması.....	17
3.2.2 2. Örneğin hazırlanması.....	25
3.2.3 3. Örneğin hazırlanması.....	29
3.2.4 4. Örneğin hazırlanması	34
3.2.5 5. Örneğin hazırlanması	38
3.2.6 6. ve 7. Örneklerin hazırlanması	41
3.3 Yalıtım işlemi.....	48
3.3.1 1. Yalıtkan örneğin hazırlanması.....	48
3.3.2 2. Örnek yalıtkanın hazırlanması.....	49
3.3.3 3. Örnek yalıtkanın hazırlanması.....	51
3.4 Süperiletken magnet sarımı.....	52
3.4.1 1. magnet sarımı örneği.....	52
3.4.2 2. magnet sarımı örneği.....	53
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	55
4.1 Süperiletken şeritlerin I-V karakteristik ölçümleri.....	55
4.2 Transformator deney düzeneği ve I-V karakterizasyonları	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1: 1212 fazında BSCCO örneğinin katlı oranlar yasasına göre elde edilişi.....	16
Tablo 3.2 : Birinci örneğinin başlangıç ağırlık ölçüm sonuçları.....	18
Tablo 3.3 : Süperiletken şerit örneğinin üretim başlangıç bilgileri.....	19
Tablo 3.4: Hadde kafaları değerleri	20
Tablo 3.5 : Birinci örnek tel şerit işlemi değerleri.....	21
Tablo 3.6 : İkinci örneğin başlangıç ağırlık ölçüm sonuçları.....	25
Tablo 3.7: Süperiletken şerit örneğinin üretim başlangıç bilgileri.....	26
Tablo3.8 : İkinci örnek hadde işlemi tablosu.....	27
Tablo 3.9 : 2. Gümüş boru şerit şekline dönüştürme işlemi değerleri	28
Tablo 3.10 : 3. Örnek ölçüm değerleri.....	29
Tablo 3.11 : R_1, R_2, R_3 Dış çapın değişik noktalarında alından mm cinsinden çap değerleridir.....	31
Tablo 3.12 : 3. Şeridin hadde değerleri ve açıklamaları.....	33
Tablo 3.13 : 4. Örnek GB iç ve dış çap değerleri.....	34
Tablo 3.14 : 4. Örnek başlangıç ölçümleri	35
Tablo 3.15 : 4. Örnek haddeleme işlem basamakları	37
Tablo 3.16 : 4. Şerit hadde sonrasında elde edilen değerler.....	38
Tablo 3.17 : 5. Örnek GB iç ve dış çap değerleri.....	38
Tablo 3.18 : 5. Örnek ağırlık ölçüm değerleri.....	39
Tablo 3.19 : 5. Örnek haddeleme işlemi ve alınan değerler	40
Tablo 3.20 : 6. Örneğin ağırlık ve uzunluk başlangıç değerleri.....	42
Tablo 3.21 : 6. Örnek haddeleme işlem basamakları ve ölçüm sonuçları	43
Tablo 3.22 : 7. Örnek haddeleme işlem basamakları ve ölçüm sonuçları	45
Tablo 3.23 : Büyük hadde sonucunda elde edilen şeritlerin uzunlukları.....	47

Tablo 3.24 : Süperiletken şerit yalıtkan malzemesi karışım oranları.....	48
Tablo 3.25 : Hazırlanan yalıtkan malzemenin ısı işlem öncesi ve sonrası ağırlığı ısı işlem sıcaklığı ve süresi.....	48
Tablo 3.26 : Süperiletken şerit yalıtkan malzemesi karışım oranları ağırlığı ve süresi	49
Tablo 3.27 : 1. Transformatörü oluşturan şeritler,sarım sayıları ve sarım yönleri.....	53
Tablo 3.28 : 1. Transformatörü oluşturan şeritler,sarım sayıları ve sarım yönleri	53
Tablo 4.1 : Yalıtılmış 12 adet süperiletken şerit örnek değerleri.....	55
Tablo 4.2 : Oda sıcaklığında 50 Ω 'luk ön direnç altında elde edilen değerler	64
Tablo 4.3 : 77 Kelvin' de 50 Ω luk ön direnç yardımı ile elde edilen V_f ve V_s değerleri.....	65

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 : Civa için öz direnç – sıcaklık değişimi. (Kittel 1976)	3
Şekil 1.2 : Yıllar bazında süperiletkenliğin tarihsel gelişimi (Sleight 1988)	4
Şekil 1.3 : BSCCO süperiletken örnek için $T_{(on)}$, $T_{(off)}$, T_c ve ΔT niceliklerinin gösterilmesi	6
Şekil 1.4 : $H_{cm}(T)$ 'nin sıcaklık bağımlılığı(Askerzade 2005).....	7
Şekil 1.5 : $T_c < T$ Normal Faz	8
Şekil 1.6 : $T_c > T$ Süperiletken Faz	8
Şekil 3.1 : Ölçümlerde kullanılan hassas terazi APX-200 max 200g d=0,1	18
Şekil 3.2 : Gümüş borun başlangıç teknik resmi	19
Şekil 3.3 : Tek tarafı açık GB teknik resmi.....	19
Şekil 3.4 : Gümüş borunun ucu kapatıldıktan sonraki teknik resmi.....	20
Şekil 3.5 : Hadde Kafları.....	20
Şekil 3.6 : PROTHERM 243 üç gözlü fırın.....	22
Şekil 3.7 : Growrolling aracı ve hadde kafaları.....	23
Şekil 3.8 : Bir metreye kadar tel hadde aracı.....	23
Şekil 3.9 : 1. Örnek çap -uzunluk değişim eğrisi.....	28
Şekil 3.10 : Büyük hadde şerit makinesi.....	29
Şekil 3.11 : Isıl işlem öncesi 2. Örnek teknik resmi.....	31
Şekil 3.12 : 3. Örnek BSCCO süperiletken toz ile doldurulmuş GB'nin teknik resmi... ..	32
Şekil 3.13 : 4. Örnek BSCCO süperiletken toz ile doldurulmuş GB'nin teknik resmi. ..	36

Şekil 3.14 : 5. Örnek GB'ni n bir ucu kapatılmış şekli.....	39
Şekil 3.15 : Değişik devir oranlarında çalışabilen üç metrelik hadde aracı.....	44
Şekil 3.16 : Hadde işlemi esnasında meydana gelen kopma.....	46
Şekil 3.17 : Üretilen süperiletken teller.....	47
Şekil 3.18 : Üretilen süperiletken şeritler.....	47
Şekil 3.19 : Süperiletken şerit yalıtımında kullanılan malzemeler.....	49
Şekil 3.20 : Karışım PROHTERM kül fırınında.....	50
Şekil 3.21 : Üzerine yalıtkan malzeme kaplanmış süperiletken şerid.....	50
Şekil 3.22 : PROTHER Furnaces üç gözlü fırın.....	51
Şekil 3.23 : İçte ters yönde sarılmış ve orta uçları kısa devre edilmiş iki sargı.....	52
Şekil 3.24 : İçte 4. örnek süperiletken şerit (primer), dışta 2.örnek şerit sekonder...	54
Şekil 3.25 : Transformator ısı işlem grafiği.....	54
Şekil 4.2 : A1 Şeritinin I-V grafiği.....	56
Şekil 4.3 : A2 Şeritinin I-V grafiği.....	56
Şekil 4.4 : B1 Şeritinin I-V grafiği.....	57
Şekil 4.5 : B2 Şeritinin I-V grafiği.....	57
Şekil 4.6 : B3 Şeritinin I-V grafiği.....	58
Şekil 4.7 : B4 Şeritinin I-V grafiği.....	58
Şekil 4.8 : C3 Şeritinin I-V grafiği.....	59
Şekil 4.9 : C4 Şeritinin I-V grafiği.....	59
Şekil 4.10 : Primeri çift sargılı süperiletken transformator deney diyagramı.....	60
Şekil 4.11 : Primeri tek sargılı süperiletken transformator deney diyagramı.....	61
Şekil 4.12 : Süperiletken transformator deney düzeneği.....	61
Şekil 4.13 : 77 K ne daldırılmış süperiletken transformator.....	62
Şekil 4.14 : Normal koşullar altında I-V grafiği.....	62

Şekil 4.15 : 77 K'de I-V grafiği.....	62
Şekil 4.16 : Ön dirençli süperiletken transformatör deney düzeneği V_r : 2 Watt'lık 50 Ohm direnç üstüne düşen gerilim, I_r : Pirimerden geçen akım, V_s : Sekonderden geçen akım.....	63
Şekil 4.17 : Oda sıcaklığında V_r ve V_s değişim oranları.....	65
Şekil 4.18 : 77 K'de elde edilen V_r , V_s değerleri.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

\AA	Angstrom($1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$)
B_a	Uygulanan manyetik alan
E	Elektrik alan
$g(E_f)$	Kritik manyetik alan şiddeti
I	Akım
J	Elektriksel akım yoğunluğu
K	Isıl iletkenlik
R	Elektriksel direnç
T_c	Kritik sıcaklık
U	Elektron-örgü etkileşim enerjisi
P	Elektriksel özdirenç
Θ	Debye sıcaklığı
λ	Sızma derinliği
λ_c	Koherens uzunluğu
GB	Gümüş boru

1.GİRİŞ

Bu çalışmada, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin tarihi gelişiminin incelenmesinin ardından süperiletkenliğin anlaşılmasında gerekli olan tanımlar anlatılmıştır. Bi tabanlı süperiletken malzeme, gümüş borulara çeşitli yöntemler ile doldurulmuştur. Doldurulan bu gümüş borular değişik hadde çaplarda inceltilerek tel haline getirilmiş, tel halindeki gümüş borular büyük haddede ezilerek şerit haline getirilmiştir. Süperiletken şeritler çeşitli kimyasal karışımlar ile yalıtılmış ve bu yalıtılmış şeritlerin 77 Kelvin de I-V karakterizasyonu incelenmiştir. Şeritler bir bobin şekline getirilerek 77 K'de sıvı azot içerisinde I-V karakterizasyon incelemeleri yapılmıştır. Süperiletken şerit üretimi esnasında çeşitli aşamalarda ısıl işlemler uygulanmış ve uygulanan bu ısıl işlemler deneylerin açıklama kısımlarında verilmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fizik Bölümü Süperiletkenlik Laboratuvarından alınan bizmut tabanlı süperiletken malzemeler ve deney cihazları kullanılmıştır. Üretim adımları değiştirilerek en uygun üretim modeli ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır.

1.1 Süperiletkenliğin Tarihçesi

Süperiletkenlik ile ilgili ilk çalışma 1911 yılında Hollandalı Fizikçi Kammerling Onnes tarafından yapılmıştır. Onnes bu çalışmada, cıvanın sıcaklığının azaltılmasıyla 4,15 K' de, direncinin çok keskin bir şekilde düşerek ölçülemeyecek kadar düşük değerlere ulaştığını bulmuştur [1]. Şekil 1.1'de Onnes bu çalışması ile sıcaklığın belli bir değerin altına düştüğünde cıvanın yeni bir forma girdiğini bulmuştur. Bu durumu **süperiletken hal** olarak adlandırmıştır. Süperiletkenlik için yapılan bu tarihi çalışma Onnes'e ilk Nobel Fizik ödülünü kazanmıştır.

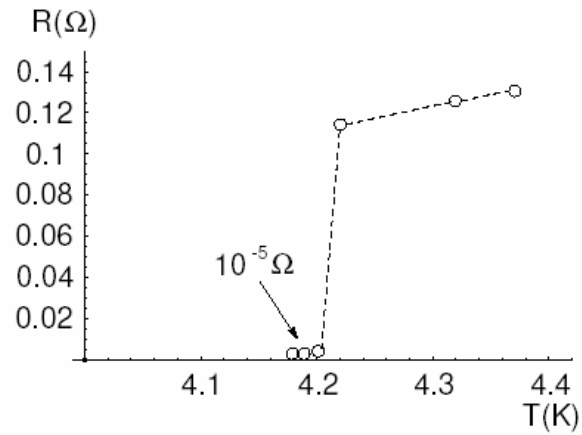
Süperiletkenlik üzerine Onnes'in çalışmasının ardından günümüze kadar bir çok çalışma yapılmış, 1957 yılında süperiletkenliğin mikroskobik yapısı üzerine yapılan çalışmaları ile John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer baş harfler ile anılan BCS teorisi oluşmuştur [2]. Bu çalışma 1972 yılında süperiletkenliğin mikroskobik yapısını açıklaması gerekçesi ile Nobel Fizik Ödülünü kazanmıştır.

1962'de Cambridge Üniversitesinden Brian D. Josephson iki süperiletken arasına sıkıştırılmış ince bir normal metal tabakasının içinden kararlı akımların geçebileceğini öne sürmüştür. Kısa zamanda doğrulanan bu görüş, süperiletkenlerin elektronik uygulamalarda kullanılmalarının yolunu açmıştır.

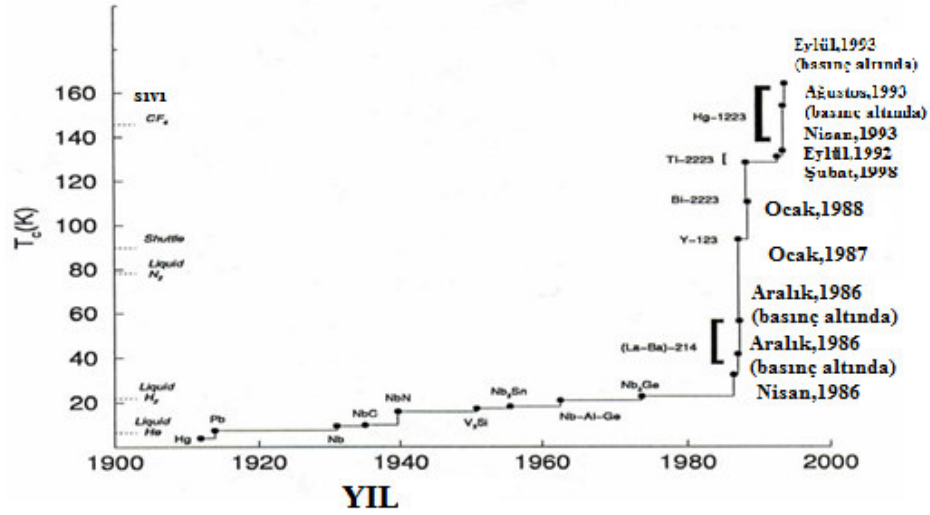
1986'da IBM Zürih laboratuvarında Bednorz ve Müler 'in Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin öncülü olan La-Ba-Cu-O malzemesi ile süperiletkenlik geçiş sıcaklığını 35 K'e çıkarmaları bir anda süperiletkenlik çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır [3]. Bu çalışma Bednorz ve Müller'e Nobel ödülünü getirmiştir. Bunların ardından Tokyo Üniversitesi'nden Haziran 1986 'da Shoji Tanaka ve grubu yeni adımları attılar. Chu ve arkadaşları 90 K' in hemen üzerinde süperiletken geçiş

gösteren yeni bir malzeme geliştirdiler ve bu malzeme yitirum, baryum, bakır ve oksijenden oluşmaktadır. 1988 yılında Maeda ve arkadaşları Ca'lu $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ bileşiğinde 105 K' de süperiletkenlik gözlediler.

Günümüzde de süperiletkenlik ile ilgili çalışmalar yüksek sıcaklık süperiletkenleri ve bunların kullanım alanlarının geliştirilmesi amacı ile yoğun bir şekilde sürmektedir. Yıllar bazında süperiletkenliğin tarihsel gelişimi Şekil 1.2 'deki gibidir [4].



Şekil 1.1: Civa için öz direnç – sıcaklık değişimi [5].



Şekil 1.2 : Yıllar bazında süperiletkenliğin tarihsel gelişimi [4].

1.2 Süperiletkenlerin Özellikleri

1.2.1 Sıfır Direnç

İletken malzemelere bir elektrik akımı uygulandığında, iletim elektronları kristal örgü ile elastik olmayan çarpışmalar yaparlar ki bu da enerjilerinin bir kısmını ısı enerjisi olarak harcamalarına yol açar. Akımın geçişine karşı oluşan bu etkiye de malzemenin elektriksel direnci denir. Süperiletkenliğin önemli bir özelliği belirli bir kritik sıcaklığın altında elektriksel direncin sıfır olmasıdır. Normal şartlar altında metaller ve alaşımlar soğutulduklarında elektriksel dirençleri küçülür. Bir metal için öz direnç denklemi şöyledir [6]:

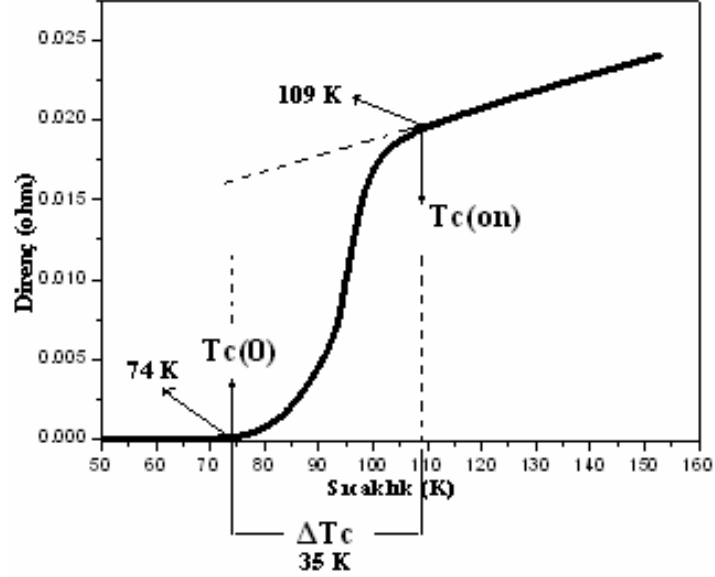
$$\rho = \rho_L + \rho_i$$

Denkleimde de görüleceği gibi metalin öz direnci iki terimden oluşmaktadır; Örgünün ısısal hareketinden oluşan öz direnci (ρ_L) ve elektron dalgalarının örgü kusurları veya safsızlık atomlarının saçılmaları nedeniyle oluşan direnci (ρ_i). Sıcaklığın düşmesine paralel olarak fonon sayısı azalacağı için ρ_L azalır dolayısı ile ρ azalır. Ancak kusurların varlığından dolayı öz direnç hiçbir zaman sıfıra düşmez. ($\rho_i(0)$: artık direnç) [7]. Ancak bazı metaller çok çarpıcı bir davranış gösterirler; soğutulduklarında ρ , bilinen şekilde azalırken belirli bir sıcaklıkta elektriksel direnç aniden tümüyle yok olur; buna **süperiletkenlik** adı verilir. Duyarlı ölçümlerin sonuçlarına göre süperiletken telin öz direnci 10^{-26} $\Omega.m$ 'den daha düşüktür [8]. Metallerin artık direnci safsızlığı ile doğru orantılı olarak artar. Oda sıcaklığında iyi iletken olmayan maddeler düşük sıcaklıklarda süperiletkenlik gösterirler.

1.2.2 Kritik Sıcaklık T_c

Elektriksel direncinin sıfır olduğu sıcaklığa süperiletkenin kritik sıcaklığı veya geçiş sıcaklığı denir ve genellikle T_c ile gösterilir. Her süperiletken metalin kendine has bir T_c değeri vardır. Genellikle geçiş sıcaklığı, metalin çok küçük miktarda da olsa safsızlık içermesine çok duyarlıdır. T_c Süperiletkenler iki farklı karakteristik kritik sıcaklık ile tanımlanır. Onset sıcaklığı, $T_{c(on)}$ ve offset sıcaklığı, $T_{c(0)}$. Onset sıcaklığı, direnç sıcaklık eğrisinde lineerliğin bozulduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Offset sıcaklığı da (ya da yalnızca kritik sıcaklık olarak adlandırılır), direncin yaklaşık sıfır olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Süperiletkenin karakteristiğini belirten diğer bir fiziksel büyüklük ise ΔT_c , geçiş sıcaklık aralığıdır

ve $\Delta T_c = T_{c(on)} - T_{c(0)}$ olarak tanımlanır. Şekil 1.3'de BSCCO süperiletken faz durumuna geçişi verilmiştir. Kaliteli saf bir örnekte bu aralığın dar olması beklenir.



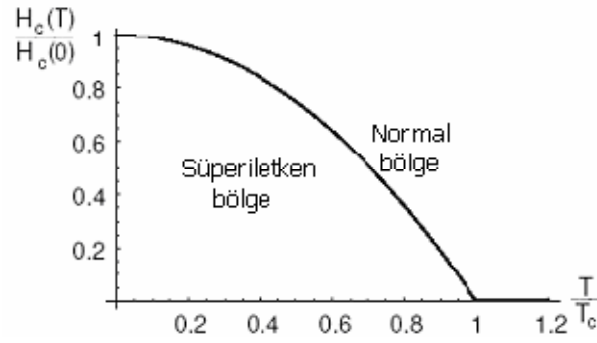
Şekil 1.3: BSCCO süperiletken örnek için $T_{(on)}$, $T_{(off)}$, T_c ve ΔT niceliklerinin gösterilmesi

1.2.3 Kiritik manyetik alan

Süperiletkenliğin bulunmasından kısa bir süre sonra uygulanan dış manyetik alanın belli bir değerden büyükçe süperiletkenliği yok ettiği ortaya çıktı. Süperiletkenliği yok eden bu manyetik alana, kritik manyetik alan dendi ve H_{cm} olarak tanımlandı. Bu kritik alanın sıcaklık bağımlılığı,

$$H_{cm}(T) = H_{cm}(0) \left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^2\right)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada $H_{cm}(0)$ kritik manyetik alanın mutlak sifıra ekstrapole edilmiş değeridir [9]. Kritik manyetik alanın sıcaklık bağımlılığı Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



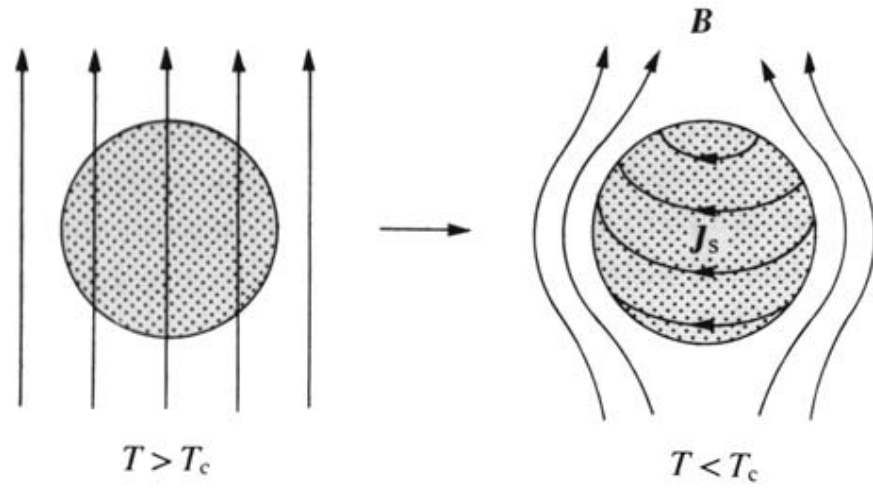
Şekil 1.4 : $H_{cm}(T)$ 'nin sıcaklık bağımlılığı [9].

B ve H birçok yerde birbirinin yerine kullanılmaktadır. **B** manyetik indüksiyon ya da manyetik akı yoğunluğu olarak tanımlanır. (SI sisteminde) manyetik alan birimi (Wb/m^2) dir. Buna Tesla (T) da denir. Bu vektörel nicelik $\mathbf{H}=(\mathbf{B}/\mu_0)-\mathbf{M}$ bağıntısıyla ya da $\mathbf{B}=\mu_0(\mathbf{H}+\mathbf{M})$ eşitliği ile tanımlanır. SI birimime göre H ve M' nin boyutu A/m dir.

Eğer kritik manyetik alanın üstünde bir manyetik alan uygulanırsa süperiletkenlik bozulur. Bunun başka bir yolu da malzemedeki belli bir değerin üstünde akım geçirilmesidir. Her iki durumda da malzeme kritik sıcaklığın altında olmasına rağmen normal faza geri döner. Taşıma akımından dolayı süperiletkenliğin bozulması **Silsbee Etkisi** olarak isimlendirilir. Bu kritik akım, r yarıçaplı bir tel için kritik manyetik alan cinsinden $\frac{2\pi r B_c}{\mu_0}$ 'a eşittir [10].

1.2.4 Meissner Olayı

Bir örnek manyetik alanın içine konulup daha sonra süperiletken geçiş sıcaklığının altına kadar soğutulursa, başlangıçta örnek içindeki manyetik akı dışarı atar. Buna Meissner olayı denir, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6 'da görüldüğü gibi [11]. Bu nedenle süperiletken örnek içerisinde manyetik akı $B = 0$ ' dır.



Şekil 1.5 : $T_c < T$ Normal Faz **Şekil 1.6 :** $T_c > T$ Süperiletken Faz

2. SÜPERİLETKENLİK TEORİLERİ

Üzerinde çalışılan süperiletken materyallerin karmaşık fiziksel yapıları, manyetik ve termodinamik özelliklerinin tek bir teori altında anlaşılmasını ve açıklanmasını zorlaştırır. Bundan dolayı süperiletkenlik, bilim adamlarına araştırma yapabilecekleri geniş bir alan sağlamıştır. Deneyciler bir taraftan sürekli araştırmalar yaparak süperiletken malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemeye çalışmaktadırlar, diğer yandan teorisyenler de anlaşılması zor olan bu problemin nasıl çözüleceği konusunda çalışmalarına devam etmektedirler. Süperiletkenliğin anlaşılması için kabul görmüş başlıca teoriler; London teorisi ve BCS teorisidir.

2.1 London teorisi

F.London, Maxwell Denklemlerini başlangıç noktası olarak alıp, ohm kanununu zamana bağlı kabul edip London denklemlerini ileri sürdü. Süperiletken diamagnetizma ve sıfır direnç olayını iki denklem ile açıkladı [12]. Bir süperiletkenin bir elektromanyetik alan içindeki davranışını anlamak için , “iki sıvı modeli” olarak adlandırılan modeli kullanmışlardır. Bu modele göre süper elektronlar ve normal elektronlar olmak üzere iki tip elektron vardır ve toplam serbest elektron yoğunluğu;

$$n = n_s + n_n \quad (2.1)$$

Süperiletken sıcaklık $T=0$ ’ dan $T=T_c$ ‘ye doğru arttırıldığında, n_s yoğunluğu n ’ den 0 ‘a doğru azalır. Bu süperiletken durum “ İki sıvı akışkan modeli” olarak tanımlanmıştır. Normal elektronlar, bilinen özellikleri ile iletme katkıda

bulunurken, süper elektronlar asla saçılmazlar. Süper elektronların entropileri sıfır kabul edildiği için, mükemmel bir düzene sahiptirler ve dirençle karşılaşmazlar. Süperiletken boyunca elektrik alanı yoksa normal elektronlar hareketsizdir [9].

Sıcaklığa bağlı olarak süperelektronların sayısı;

$$n_s = n_s \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right] \quad (2.2)$$

$T = T_c$ olduğunda; normal hale geçiş olduğundan; $n_s = 0$ olur. Zayıf elektrik ve manyetik alanların varlığında, n_s 'nin her yerde aynı olduğunu kabul edilir. Bu durumda akım, elektrik ve manyetik alan arasındaki ilişki lineerdir ve bu "London Eşitlikleri" olarak tanımlanır. Özdirenç yokken, dışarıdan bir E elektrik alanı uygulandığında, serbest elektron için hareket denklemi;

$$n_s m \frac{dv_s}{dt} = n_s e E \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde m; elektronun kütlesi, e; elektronun yükü, v_s süper akışkan hız, n_s süper sıvının elektron yoğunluğudur. Süper akım yoğunluğu $j_s = n_s e v_s$ olmak üzere denklem,

$$E = \frac{d}{dt} (\Lambda j_s); \quad \Lambda = \frac{m}{n_s e^2} \quad (2.4)$$

ile verilir. Denklem (2.4) gösterilen eşitlik 1. London denklemi olarak bilinir [13].

İkinci London denklemi ise süperiletkendeki süper akım ile manyetik alan arasındaki bağıntıyı tanımlar. Süperiletkendeki mikroskobik manyetik alan $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ 'dir. Manyetik alan yokluğunda süperiletkenin serbest enerjisi F_{so} 'dır. Süper akımların kinetik enerjisi,

$$W_{kin} = \frac{m v_s^2 n_s}{2} = \frac{m j_s^2}{2 n_s e^2} \quad (2.5)$$

olur. Maxwell denklemi $\nabla \times H = \frac{4\pi}{c} j_s$ ifadesini denklem 2.5 de yerine yazılırsa,

$$W_{kin} = \frac{\lambda^2}{8\pi} (\nabla \times H)^2 \quad (2.6)$$

Bulunur. $\lambda^2 = \frac{mc^2}{4\pi e^2 n_s}$ şeklindedir. Süperiletkendeki manyetik alandan kaynaklanan enerji $\frac{H^2}{8\pi}$ dir. Süperiletken serbest enerjisi, süper akımların kinetik enerjisi ve manyetik alanın enerjisini içerecek şekilde,

$$F_{SH} = F_S + \frac{1}{8\pi} \int [H^2 + \lambda^2 (\nabla \times H)^2] dV \quad (2.7)$$

şeklinde yazılır. Burada integral süperiletkenin hacmi üzerinden alınmaktadır. Serbest enerjinin manyetik alana göre değişimi alınarak sıfıra eşitlenirse, manyetik alanı tanımlayan denklem elde edilir. Serbest enerjinin varyasyonu,

$$\delta F_{SH} = \frac{1}{8\pi} \int [2H\delta H + 2\lambda^2 (\nabla \times H)(\nabla \times \delta H)] dV = 0 \quad (2.8)$$

olur. Yukarıdaki tanımlanan ifade ile

$$a[\nabla \times b] = b[\nabla \times a] - \nabla[axb]$$

Eşitliği düşünülürse,

$$\int dV [H + \lambda^2 (\nabla \times \nabla \times H)] \delta H - \int \nabla[\nabla \times H \times \delta H] dV = 0 \quad (2.9)$$

bulunur. Gauss teoreminden ikinci integral $\oint[\nabla x H x \delta H] dS$ olur.

Bu integral süperiletkenliğin yüzeyi üzerindedir. Süperiletkenin yüzeyindeki manyetik alan sabit olduğundan $\delta H(r) = 0$ olur Denklem 2.8,

$$H + \lambda^2(\nabla x \nabla x H) = 0 \quad (2.10)$$

şekline dönüşür. Eşitliğin sağlanabilmesi için parantez sıfır olacak şekilde,

$$H + \lambda^2(\nabla x \nabla x H) = 0 \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu ifade ikinci London denklemi olarak bilinir. Maxwell denklemi ile $H = \nabla x A$ ifadesi düşünülürse,

$$j_s = \frac{-1}{c\Lambda} A \quad (2.12)$$

bulunur. Bu çözüm ancak London ayarı($\nabla A = A n = 0$; n süperiletkenin yüzeyine dik birim vektör) ile mümkündür. $\nabla A = 0$ eşitliği Denklem (2.12) ile birlikte süper akımların sürekliliğini tanımlıyor, yani süper akım kaynaklarının olmadığını kabul ediyor. Bu arada dış kaynakların olmadığı da göz önünde tutulur. $\Lambda = \frac{4\pi\lambda^2}{c^2}$ şeklinde seçilirse yukarıdaki denklem,

$$j_s = \frac{-1}{c\Lambda} A \quad (2.13)$$

şeklinde olur. Bu denklem süperiletkendeki akımı tanımlar ve 2. London denklemi olarak bilinir.

2.2 BCS Teorisi

1957 yılında Barden, Cooper, Schrieffer tarafından geliştirilmiş olan bu teori ile süperiletkenliğin kuantum teorisinin temelini oluşturulmuştur. BCS teorisi daha çok düşük sıcaklık ($T_c < 23$ K) süperiletkenlerde iyi sonuçlar vermektedir. Bu teorisin açıklık getirdiği temel konular şunlardır:

1. Spinleri ve momentumları eşit büyüklükte fakat zıt yönde iki elektron Frölich etkileşimi olarak bilinen, fonon etkileşimi aracılığıyla bir sistem oluştururlar. İki elektrondan oluşan böyle bir sistem Cooper çiftidir. Copper çiftlerinin çekici etkileşimi uyarılmış durumlardan bir enerji aralığı ile ayırık olmak zorundadır. Süperiletken durumda normal duruma göre bu etkileşim düzen durumu nedeni ile daha az itici olmalıdır. Elektromanyetik, ısısal ve kritik alan özellikleri bu enerji aralığının bir sonucu olarak meydana gelir.

2. Elektron –örgü- elektron etkileşmesi gözlenen büyüklükte bir enerji aralığına yol açar. Bir elektronun örgü ile etkilenmesi sonucunda örgü üzerinde deformasyon oluşur. İkinci bir elektron deformasyon olmuş bölgeyi enerjisini azaltmak için bir avantaj olarak kullanır. Böylece ikinci elektron, örgü deformasyon alanı veya fonon alanı yoluyla birinci elektron ile etkileşir. Etkileşmeler dinamik yapıda olup etkileşme teorisine atomik kütle doğal olarak girer ve izotop etkisi meydana getirir.

3. Elektron örgü etkileşme enerjisi u .

$$u.g(E_f) \ll 1 \text{ için BCS teorisine göre } T_c = 1,14 \Theta e^{\frac{-1}{g(E_f).u}}$$

Burada Θ Debye sıcaklığıdır ve bu ifade deneysel veriler ile uyuşmaktadır. Oda sıcaklığında öz direnç elektron – fonon etkileşmesinin bir ölçüsüdür. T_c yaklaşık olarak Θ ile orantılı olduğundan bir malzemenin oda sıcaklığındaki öz direnci o malzemenin süperiletkenlik göstermesinde etkindir [7].

4. Süperiletken bir halkadan geçen manyetik olan kuantumlanmış olup yük birimi e yerine $2e$ dir. BCS taban durumu elektron çiftlerini öngörür; o halde $2e$ yük çiftleri cinsinden akı kuantumlaşması BCS teorisinin bir sonucudur.

5. London sızma derinliği ve uyum uzunluğu nicelikleri BCS teorisinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkar. Uzayda yavaş değişen manyetik alanlar için London denklemi yazılabilir, bunun sonucu da Meissner etkisi bu teorisinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkar.

3. SÜPERİLETKEN ŞERİT YAPIMI DENEYLERİ

3.1 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ (Bi-2223) Süperiletken Malzemeler

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin (HTSC) üzerine yapılan çalışmalar oksit süperiletkenlerin bulunması ve T_c değerinin 77 K' nin üstüne çıkması ile hız kazanmıştır. BSCCO örneklerin hazırlanması esnasında uygulanan ısıl işlemler ve oksijen basıncı T_c değerinin oluşmasında etkilidir [4]. Temel geometrisi oldukça basit olmakla birlikte, oksijen stokiometrisi, katyon düzensizliği, tabaka yığılma hatalarından ve periyodik olmayan davranıştan dolayı yapı karmaşıktır. XRD, HTEM ve nötron scattering analizleri ile detaylı kristal yapı analizi bileşiklerin ortorombik yada c eksenli perovskite yapıdan bozulmuş tetragonal yapıya sahip olduğunu gösterir. Bu bileşiklerin toz olarak elde edilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Başlıca kullanılan yöntemler; katıhal, cam seramik ve sol-gel tekniği.

Katıhal reaksiyon yönetiminde örneği oluşturan başlıca bileşiklerin mol kütleleri kullanılan katlı oranlar yasasına göre uygun oranlarda alınarak karışım yapılır.

Örneğin; 2212 fazında $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ bileşiğini hazırlamak için önce; bu bileşiğin başlangıç malzemeleri olan Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 ve CuO bileşiklerinin atoma ağırlıkları hesaplanır ve daha sonra başlangıç malzemesi olarak bir tanesi, örneğin Bi_2O_3 referans olarak alınır.

Genel olarak süperiletken örnek hazırlamak için aşağıda verilen işlem basamakları kullanılmaktadır.

1. Referans olarak alınan malzemedeki kaç gram alınacağı belirlendikten sonra diğerlerinden de kaç gram alınacağı hesaplanır.

Bi –Sr- Ca- Cu- O sistemi için $\text{Bi}_2\text{O}_3 = 0.5$ gr alındığında katlı oranlar yasanına göre Tablo 3.1'deki oranlarda karıştırılarak sonuç elde edilir.

Tablo 3.1 : 1212 fazında BSCCO örneğinin katlı oranlar yasanına göre elde edilişi.

Malzemeler	Başlangıç miktarı (gr)	Mol kütlesi (gr/mol)	Katlı oranı	Faz değeri
Bi_2O_3	0.5	466	0.001073	1
$(\text{SrCO}_3)_x2$	0.3168	147.63	0.002146	2
CaCO_3	0.1074	100.08	0.001073	1
$(\text{CuO})_x2$	0.1706	79.54	0.002145	2

2. Hazırlanan bu örnek içerisindeki olası nemi yok etmek için 120°C de 24 saat alumina pota içine konularak fırında tutulmaktadır.

3. Karışım tekrar agat havan içerisinde 1 saat öğütülerek homojenleşmesi sağlanmaktadır.

4. Oluşturulan karışım Şekil 3.1' deki APX-200 max 200g d=0,1 gr hassas teraziyle ölçülerek, hidrolik preste 21.10^7 Pa basınç ile 4 dk'lık basınca maruz bırakılarak 1.6 cm çapında ve 0.2 cm kalınlığında tabletler haline getirilmektedir.

5. 850°C 'de 24 saat sinterlenen örnekler fırında soğumaya bırakılmaktadır.

3.2 Süperiletken tel şeritlerin üretilmesi

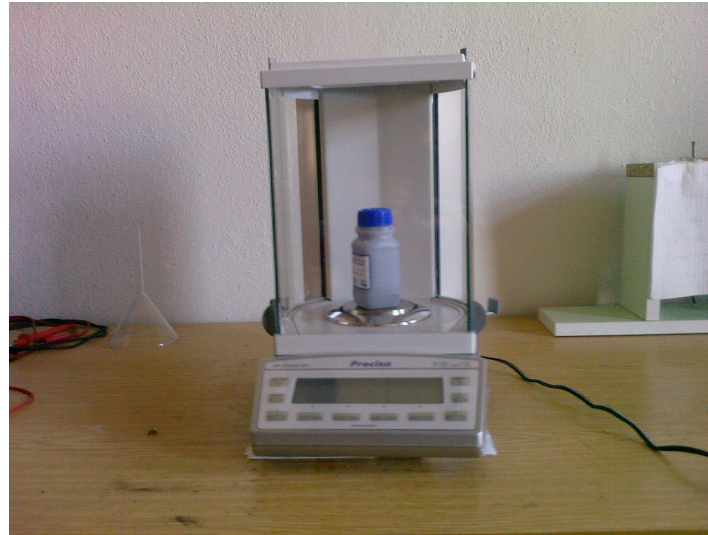
Bizmut tabanlı süperiletken şeritlerin üretimi aşağıdaki adımlar kullanılarak yapılmıştır;

1. Malzemenin hazırlanması
2. Gümüş boruya doldurulması
3. Tel hadde işlemi
4. Çekilen telin şerit haline dönüştürülmesi
5. Yalıtılması
6. Bobin haline getirilmesi

Üretim adımları her örnek için tekrarlanmış ve bu adımlar içerisinde yapılan değişiklikler açıklamalarda verilmiştir.

3.2.1 1. Örneğin hazırlanması

1. Tel şerit yapılabilmesi için gümüş borunun hazırlanması işlemi yapılmıştır.
2. Gümüş borunun ve içerisine konacak olan süperiletken malzemenin tartım değerleri sırası ile Tablo 3.2' de verilmiştir.
3. Gümüş borunun bir ucu gümüş tıpa yardımı ile kapatılmıştır.
4. BSCCO süperiletken malzeme agat havan içerisinde 1 saat öğütülmüştür.

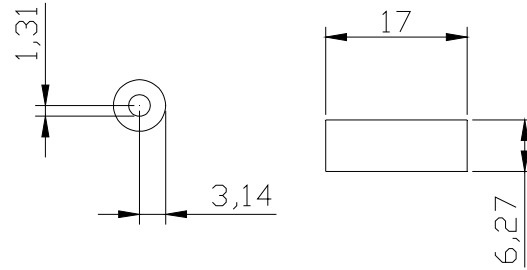


Şekil 3.1 : Ölçümlerde kullanılan hassas terazi APX-200 max 200g d=0,1 gr

Tablo 3.2 : Birinci örneğin başlangıç ağırlık ölçüm sonuçları

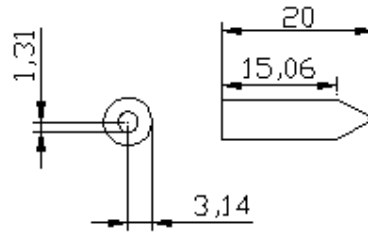
Malzeme	Ağırlığı (gr)
Isıl işlem öncesi gümüş borunun ağırlığı	30.1824
Haddede bir ucu ezilerek kapatıldıktan sonraki ağırlığı	30,1705
Gümüş borunun ısıl işlem ⁽¹⁾ 'e tabi tutulduktan sonraki ağırlığı	30.1673
Boş parafin kâğıt	0.8289
BSCO Süperiletken toz + Parafin kâğıdı	5,8443
BSCO Süperiletken toz.	5,0154
Isıl işlem ⁽²⁾ uygulanmıştır.	

5. Ölçümler alındıktan sonra karışımın homojenleşmesi ve içindeki nemin yok edilmesi için Isıl işlem ⁽²⁾ tabi tutulmuş malzeme agat havanda 15 dk öğütülmüştür.



Şekil 3.2 : Gümüş borun başlangıç teknik resmi

6. Bir ucu kapatılan GB'ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi mümkün olduğunca yavaş yapılmaya ve iyice sıkıştırılmaya özen gösterilmiştir.



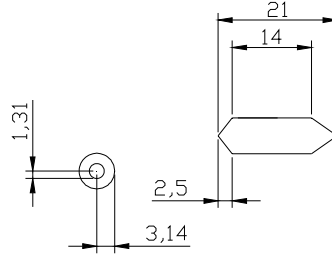
Şekil 3.3 : Tek tarafı açık GB teknik resmi

7. İşlem bitiminde hassas terazi yardımı ile ağırlıklar ölçülmüştür. Örnekten elde edilen değerler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Süperiletken şerit örneğinin üretim başlangıç bilgileri

Örnek doldurma süresi	1 saat
Borunun iç hacmi	91.6054 mm ²
GB 'nin dolu haldeki ağırlığı	35.0409 gr

8. BSCCO süperiletken malzemesi doldurma işleminden sonra dolum yapılan uçda kapatıldı.



Şekil 3.4 : Gümüş borunun ucu kapatıldıktan sonraki teknik resmi

9. Doldurulan GB iki ucu da kapatıldıktan sonra hadde işlemi yapılmıştır. Hadde Şekil 3.8 de verilen hadde makinesine takılan Şekil 3.5’ deki hadde kafaları Tablo 3.4’te verilen büyük çaptan küçük çapa doğru adım adım gidilmiştir. Adımlar arası geçişleri kolaylaştırmak için Şekil 3.7’deki growrolling aracı kullanılmıştır.

Tablo 3.4 : Hadde kafaları değerleri

Çap (mm)
640
600
565
470
440
415



Şekil 3.5 : Hadde Kafaları

10. Elde edilen süperiletken gümüş tel büyük hadde makinesi ile tel şerit haline getirilmiştir, Tablo 3.5.

Tablo 3.5 : Birinci örnek tel şerit işlemi değerleri

Tarih						
03.11.2006						
Sıkıştırma işlemi	Pres Basıncı: 200 Ton					
Başlangıç	Derinlik (mm)			Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Devir d/dk
1	3,4	3,28	3,24	7,62	969,6	14,45
	3,25	3,24	3,24	7,23		
2	2,17			9,31	1053,7	14,45
	2,16			9,22		
	2,16			9,24		
3	1,4			11,15	1290	14,45
	1,41			11,38		
	1,41			11,49		
4	1,23	1,24	1,28	11,89	1475	
	1,32	1,26	1,27	11,79		
	1,32	1,21	1,32	11,75		
5	1,18	1,13	1,19	11,97	1485	10
	1,15	1,2	1	11,58		
	1,21	1,16	1,19	11,9		
6	1,12	1,15	1,16	11,99	1495	10
	1,18	1,14	1,15	12,07		
	1,16	1,11	1,15	12		
Not:	1,07	1,09	1,08	12,04	1525	9,9
	1,06	1,01	1,09	11,83		
	1,08	1,08	1,1	12,02		
7	Deney ikinci kez tekrarlandı, kavıştı ve düzeldi Top Aralığı: 0,34 mm					
8	1,06	1,02	1,02	12,11	168	19,99
	1,01	1,08	1,06	12,12		
	1,04	1	1,03	12,31		
	0,93	0,87	0,9	12,49	175	9,9
	0,86	0,88	0,93	12,61		
	0,87	0,92	0,94	12,68		

11. Elde edilen şeride Isıl işlem ⁽²⁾ uygulandı. Uygulama sonucunda şeridin üzerinde şişmeler meydana geldiği gözlemlendi.

Uygulanan ısı işlemlerin ayrıntıları

(1) Gümüş boruya uygulanan ısı işlem: Şekil 3.6 PROTHERM 243 üç gözlü fırının içerisinde 900 ° C’de 1 saat tutulmuştur.

(2) Süperiletkene uygulanan ısı işlem: Şekil 3.6: PROTHERM 243 üç gözlü fırının içerisinde 800° C’de 24 saat oksijen ortamında tutulmuştur.

(3) Süperiletken şerit Şekil 3.6 PROTHERM 243 üç gözlü fırının içerisinde 800° C’de 5 dk ara ile 20 cm mesafelerde fırından geçirilmiştir.



Şekil 3.6 : PROTHERM 243 üç gözlü fırın



Şekil 3.7 : Growrolling aleti ve hadde kafaları



Şekil 3.8 : Bir metreye kadar tel çekebilen tel çekme cihazı

Uygulanan ısı işlemlerin ayrıntıları

(1) Kullanılan fırın PROTHERM 243 üç bölmeli olup bölmeler arası ısı değişim değerleri 700 °C de sabitleninceye kadar beklendi ve sırası ile aşağıdaki işlem basamakları uygulanmıştır.

1. Gümüş boru fırın içerisine konularak 60 dk 700 °C ısı işleme bırakıldı.
2. Fırın kapatıldıktan sonra 5 dk daha gümüş boru fırın içerisinde bırakıldı.
3. Gümüş borunun soğuması için fırının ağzına çekilen örnek 5 dk da burada tutuldu.

(2) Kullanılan fırın PROTHERM 243 üç bölmeli olup bölmeler arası ısı değişim değerleri 700 °C de sabitleninceye kadar beklenildi ve sırası ile aşağıdaki işlem basamağı uygulanmıştır.

1. Gümüş boru fırın içerisine konularak 30 dk 700°C ısı işleme bırakıldı.
2. Fırın kapatıldıktan sonra 5 dk daha gümüş boru fırın içerisinde bırakıldı.
3. Gümüş borunun soğuması için fırının ağzına çekilen örnek 5 dk da burada tutuldu.
4. Fırından çıkan örneğe ağırlık ölçümleri yapılmıştır;

⁽³⁾ Kullanılan fırın PROTHERM 243 üç bölmeli olup bölmeler arası ısı değişim değerleri 700 °C'de sabitleninceye kadar beklenildi, gümüş boru fırın içerisine konularak 15 dk 700 °C fırının bir ucundan ileri sürülen örnek, fırının diğer ucundan alınarak ısıl gerilmenin eşit olması sağlandı.

3.2.2 2. Örneğin hazırlanması

1. Tel şerit yapılabilmesi için gümüş borunun hazırlanması işlemi yapılmıştır. Bu ön ısıl işlem gümüş borunun çekme sırasında kopmaması için gerekli olan gerilme giderme tavlamasıdır.

2. Isıl işlem uygulanmış gümüş borunun içerisine konacak olan süperiletken malzemenin tartım işlemi yapılmıştır. Tartım değerleri sırası ile Tablo 3.6'da verilmiştir.

3. Gümüş borunun bir ucu gümüş tıpa yardımı ile kapatılmıştır.

4. BSCCO süperiletken malzeme agat havan içerisinde 1 saat öğütülmüştür.

Tablo 3.6 : İkinci örneğin başlangıç ağırlık ölçüm sonuçları

Malzeme	Ağırlığı (gr)
Isıl işlem öncesi gümüş boru	30.1824
Haddede bir ucu ezilerek kapatıldıktan sonra	30,1705
Gümüş boru Isıl işlem ⁽¹⁾ tabi tutulduktan sonra	30.1673
Boş parafin kağıt	0.8460
Parafin+ artık gümüş	1,7418
BİSCO dolu GB	34.1242

5. Ölçümler alındıktan sonra karışımın homojenleşmesi ve içindeki nemin yok edilmesi için Isıl işlem ⁽²⁾ tabi tutulmuş ve malzeme agat havanda 15 dk dövülmüştür.

6. Bir ucu kapatılan GB'ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken toz sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi mümkün olduğunca yavaş yapılmaya ve iyice sıkıştırılmaya özen gösterilmiştir.

7. İşlem bitiminde hassas terazi yardımı ile ağırlıklar ölçülmüştür. Örnekten elde edilen değerler Tablo 3.7 'de verilmiştir.

Tablo 3.7 : Süperiletken şerit örneğinin üretim başlangıç bilgileri

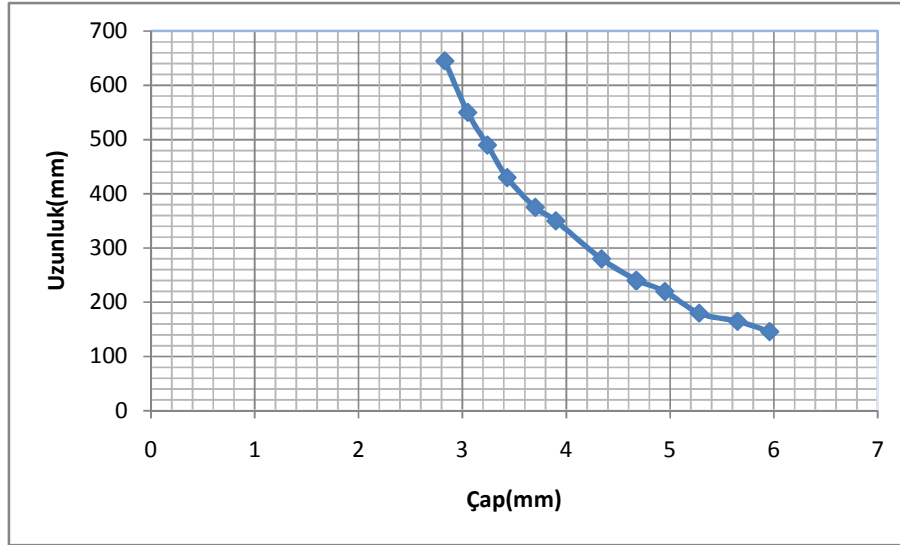
Doldurma süresi	1 saat
Borunun iç hacmi	91.6054 mm ³
GB 'nin dolu haldeki ağırlığı	35.0409 gr

8. BSCCO süperiletken malzemesi doldurma işleminden sonra dolmuş uç kapatıldı.

9. Doldurulan GB'ye iki ucu da kapatıldıktan sonra hadde işlemi yapılmıştır. Hadde işleminde Şekil 3.7 'deki hadde kafaları Tablo 3.8'deki gibi büyük çaptan küçük çapa doğru adım adım gidilmiştir.

Tablo3.8 : İkinci örnek hadde işlemleri tablosu

No	H.Çapı (mm)	T.Çapı (mm)	Uzunluk (mm)	Saat	Açıklama
1	6,00	5,96	146	1.21	
2	5,65	5,65	165	1.27	
3	5,30	5,28	180	1.31	Hadde işlemleri sonucunda gümüşte sertleşme ve ısınma oluştuğu gözlemlendi
4	5,00	4,95	220	1.35	Isınma gözlemlendi.
5	4,70	4,67	240	1.38	Gümüş çapı kalın geldiği için inceltme işlemleri yapıldı
6	4,70	4,68	240	3.35	Gümüş boruda hadde işlemleri sırasında kopma oluştu. Isıl işlem ⁽¹⁾ uygulandı
7	4,40	4,34	280	3.37	
8	3,90	3,9	350	3.53	Gümüş boru ağzı Growrolling makinesinin 5. adımı ile inceltildi
9	3,70	3,7	375	3.54	Gümüş boru ağzı Growrolling makinesinin 6. adımı ile inceltildi
10	3,45	3,43	430	3.55	Örnekte sertleşme gözlemlendi, Isıl işlem ⁽²⁾ uygulandı.
11	3,25	3,24	490	4.55	Growrolling makinesinin 6. adımı uygulandı. Gümüş boru 3,25'lik hadde çapından geçmedi. Grow rolling makinesinin 7. adımı uygulandı .
12	3,05	3,05	550	4.58	
13	2,85	2,83	645	5.00	Growrolling makinesinin 8.adımı uygulandı ve uç yeniden düzeltildi
14				5.05	Isıl işlem ⁽³⁾ uygulandı



Şekil 3.9 : 2. Örnek çap-uzunluk değişim eğrisi

10. Elde edilen süperiletken gümüş tel Şekil 3.10 'daki büyük hadde makinesi ile tel şerit haline getirilmiştir.

Tablo 3.9 : 2. Gümüş boru şerit şekline dönüştürme işlemi değerleri

No	EN(mm)	DERİNLİK(mm)	BOY(mm)	Devir (d/dk)	SAAT
1	6.4	0.85	725	5	16:44
2	6.7	0.75	765	5	
3	7.05	0.73	795	5	



Şekil 3.10 : Büyük hadde şerit makinesi

3.2.3 3. Örneğin hazırlanması

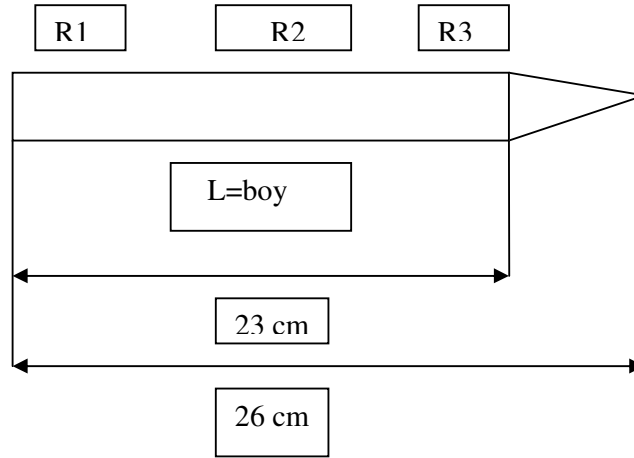
1. Tel şerit yapılabilmesi için gümüş borunun hazırlanması işlemi yapılmıştır.
2. Isıl işlem tutulmuş gümüş borunun içerisine konacak olan süperiletken malzemenin ölçüm işlemi yapılmıştır. Ölçüm değerleri sırası ile Tablo 3.10 'da verilmiştir.

Tablo 3.10 : 3. Örnek ölçüm değerleri

Malzeme	Ağırlığı (gr)	
Gümüş Boru	4,2528	
Gümüş Tıpa	0,2846	
Örnek kabının ağırlığı	17.5434	
Örnek kabı + süper iletken toz	34.1143	
Gümüş boru + süper iletken toz	54,4602	
Artan malzeme + örnek kutusu	23,5715	

3. Gümüş borunun bir ucu gümüş tıpa yardımı ile kapatılmıştır.
4. BSCCO süperiletken malzeme agat havan içerisinde 1 saat öğütülmüştür.
5. Ölçümler alındıktan sonra karışımın homojenleşmesi ve içindeki nemin yok edilmesi için ısıtma işlemi ⁽¹⁾ 'ye tabi tutulmuş, malzeme agat havanda 15 dk öğütülmüştür.
6. Bir ucu kapatılan GB ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi mümkün olduğunca yavaş yapılmaya ve iyice sıkıştırılmaya özen gösterilmiştir.
7. BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulduktan sonra ısıtma işlemi ⁽¹⁾ uygulanmıştır.

Not : Isıtma işlemi sonrasında ısınmadan dolayı içerideki süperiletken malzemenin 10 mm kadar dışarı doğru geldiği gözlemlendi ve bu malzemenin bir kısmının da fırının içerisine döküldüğü gözlemlendi. Bunun sebebinin, ısınmadan dolayı gaz çıkışının sebep olduğu düşünülmektedir. Bir ucu kapatılan GB' ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken toz sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi 135 dk sürmüştür.

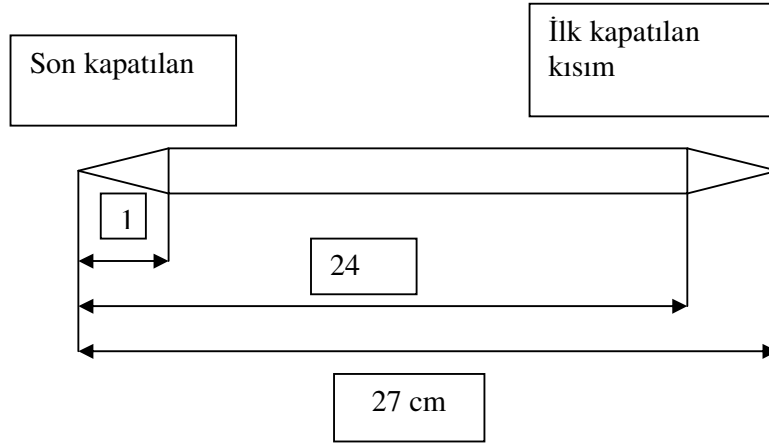


Şekil 3.11 : Isıl işlem öncesi 3. Örnek teknik resmi

Tablo 3.11 : R_1, R_2, R_3 Dış çapın değişik noktalarında alından mm cinsinden çap değerleridir.

Ölçüm noktası	Çap(mm)
R_1	6,48
R_2	6,48
R_3	6,48
$R_{iç}$	4,18

8. BSCCO süperiletken malzemesi ısıtılma işlemi (1) 'den sonra dolmuştur uç kapatıldı.



Şekil 3.12 : BSCCO süperiletken toz ile doldurulmuş GB'nin teknik resmi

9. Doldurulan GB'ye iki ucu da kapatıldıktan sonra hadde işlemi yapılmıştır. Hadde işleminde Şekil 3.7 'deki hadde kafaları ve Tablo 3.12 'de verildiği gibi büyük çaptan küçük çapa doğru adım adım gidilmiştir.

Tablo 3.12 : 3. Şeridin hadde değerleri ve açıklamaları

Hadde çapı (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	L (mm)	Açıklama	Saat
6,00	5,90	5,91	5,89	293		11.20
5,65	5,58	5,58	5,58	320		11.26
5,30	5,20	5,21	5,22	343	Şeridin ucunda kopma meydana geldi	11.36
5,00	4,95	4,92	4,89	381	Uç inceltme işlemi yapıldı.	11.40
4,70	4,63	4,61	4,67	432	Uç inceltme işlemi yapıldı.	11.46
4,40	4,29	4,28	4,32	477		11.48
4,15	4,10	4,08	4,09	520		11.52
3,90	3,82	3,85	3,81	600		11.55
3,70	3,68	3,63	3,64	640		11.58
3,45	3,35	3,37	3,39	730	ısıtım işlemi ⁽²⁾	12.02
3,25	3,17	3,19	3,20	830		12.55
3,05	2,99	3,02	3,03	924		13.00
2,85	2,80	2,81	2,80	1083		13.06
Grow Rolling	2,48	2,47	2,47	1180	ısıtım işlemi ⁽²⁾	13.18

10. Boy, 1960 mm olarak ölçüldü ve ısıtım işlemi yapıldı. Isıtım işlemi sonrası şerit haline getirildi. Şerit halindeki son boy 2200 mm olarak ölçüldü.

11. Şerit haline gelen örneğe ısıtım işlemi ⁽¹⁾ uygulandı.

Uygulanan ısıt işlemlerin ayrıntıları

(1) GB' ler 800°C de PROTHERM Tekli fırında bir tarafı açık diğer tarafı kapalı olacak şekilde fırına kondu, böylece malzemeyi ısıtarak içinde var olan gazların azaltılması hedeflendi. Fırın kapatıldı malzeme ve fırın soğumaya bırakıldı.

(2) 3,45'lik hadde çapında ısıt işlem yapıldı 700 °C de fırının ucuna konan şerit Fırının ısısını 800 °C ulaşmasının ardından fırın içine doğru 5 dk ara ile 20 cm 'lik aralıklarda fırınlama işlemine tabi tutuldu.

3.2.4 4. Örneğin hazırlanması

1. Tel şerit yapılabilmesi için 250 mm boyunda GB alındı.

Tablo3.13 : 4. Örnek GB iç ve dış çap değerleri

Dış Çap (mm)		İç çap (mm)	
R _{1d}	6.37	R _{1i}	4.46
R _{2d}	6.37	R _{2i}	4.29
R _{3d}	6.41	R _{3i}	4.38

2. Isıt işlem tutulmuş gümüş borunun içerisine konacak olan süperiletken malzemenin tartım işlemi yapılmıştır. Tartım değerleri sırası ile Tablo 3.14'de verilmiştir.

Tablo 3.14 : 4. Örnek başlangıç ölçümleri

Örnek başlangıç ölçümleri	Ağılık (gr)
GB	44,4870
Örnek alınan gümüş kap	154,4882
G.kap + toz (ısıtıl işlem öncesi)	194.4577
G.kap + toz (ısıtıl işlem sonrası)	194,3624
GB + süperiletken malzeme	53,2844
Gümüş tıpa	0.4094

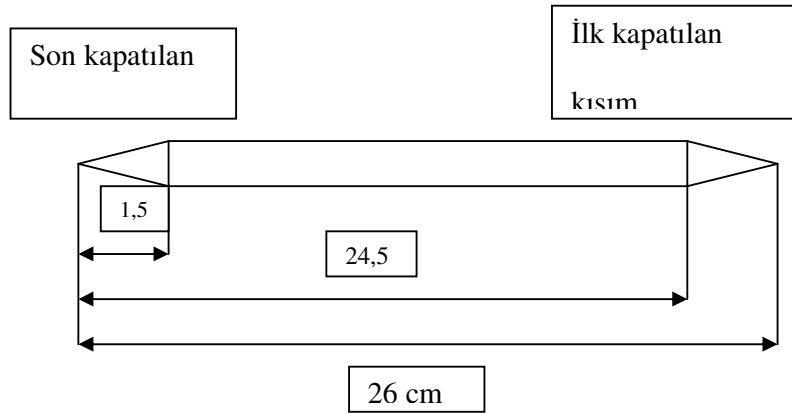
4. BSCCO süperiletken malzeme agat havan içerisinde 1 saat dövülmüştür.

5. Tartımlar alındıktan sonra karışımın içindeki nemin yok edilmesi için ısıtıl işlem ⁽¹⁾ tabi tutulmuş, malzeme agat havanda 15 dk dövülmüştür.

6. Bir ucu kapatılan GB' ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi mümkün olduğunca yavaş yapılmaya ve tozun iyice sıkıştırılmasına özen gösterilmiştir.

7. BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulduktan sonra ısıtıl işlem ⁽²⁾ uygulanmıştır.

8. BSCCO süperiletken malzemesi ısıtıl işlem ⁽³⁾ den sonra dolun yapılan uç kapatıldı.



Şekil.3.13 : BSCCO süperiletken toz ile doldurulmuş GB'nin teknik resmi

9. Doldurulan GB iki ucu da kapatıldıktan sonra haddelenmiştir. Hadde işleminde Şekil 3.7 'de hadde kafaları Tablo 3.15 verilen büyük çaptan küçük çapa doğru adım adım gidilmiştir.

Tablo 3.15 : 4. Örnek haddeleme işlem basamakları

Hadde çapı (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	L (mm)	Saat	Açıklama
6,00	5,97	5,98	5,98	284	14.15	
5,65	5,64	5,65	5,65	310	14.24	ısıtım işlemi ⁽²⁾
5,30	5,26	5,25	5,26	347	14.41	
5,00	4,92	4,91	4,91	387	14.43	
4,70	4,63	4,64	4,65	417	14.48	Kopma olmuştur
4,40	4,33	4,39	4,34	468	14.54	
4,15	4,10	4,12	4,12	519	14.59	
3,90	3,87	3,84	3,83	575	15.27	ısıtım işlemi ⁽³⁾
3,70	3,68	3,69	3,65	620	15.29	
3,45	3,39	3,39	3,40	700	15.31	
3,25	3,20	3,21	3,23	782	15.35	
3,05	3,03	3,01	2,99	874	15.40	
2,85	2,78	2,77	2,75	1008	15.47	
Grow Rolling						
7.Bölme				1094	16.11	
8.Bölme				1294	16.13	
9.Bölme				1537	16.15	
10.Bölme				1927	16.17	
11.Bölme				2075	16.20	
12.Bölme				2438	16.56	

10. Süperiletken tel Şekil 3.10'daki büyük hadde ile şerit haline getirildi. Elde edilen süperiletken şeridin değerleri Tablo 3.16' de verilmiştir.

Tablo 3.16 : 4. Şerit hadde sonrasında elde edilen değerler.

Örnek	En1 (mm)	En2 (mm)	En3 (mm)	Genişlik (mm)	S.Boy (mm)	Ö.Boy (mm)	Fark (mm)
1.örnek	0.32	0.27	0.28	9.35	965	80	165
2.örnek	0.31	0.31	0.33	8.34	2475	2200	275
3.örnek	0.25	0.24	0.24	6.30	3000	2760	240

Uygulanan ısı işlem ayrıntıları

- (1) Isıl işlem: 800⁰ C de 2 saat fırınlanmıştır.
- (2) GB 800 °C de fırında 5 dk tutulmuştur.
- (3) 800 °C de fırına 5 dk ara ile 20 cm aralıklar ile bir ucundan sokulup diğer ucundan çekilerek uygulanmıştır.

3.2.5 5. Örneğin hazırlanması

1. Tel şerit yapılabilmesi için 167 mm boyunda GB alındı

Tablo 3.17 : 5.Örnek GB iç ve dış çap değerleri

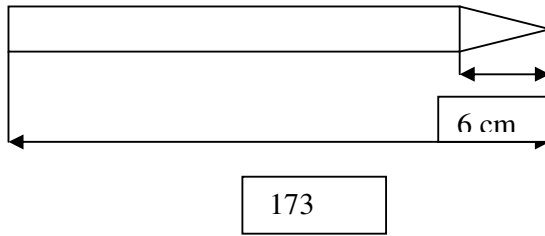
Uzunluk ölçümleri	Uzunluk(mm)
GB boyu	167
GB İç çap	4.36
GB Dış çap	6.34

2. Isıl işlem uygulanmış gümüş borunun içerisine konacak olan süperiletken malzemenin tartım işlemi yapılmıştır. Tartım değerleri sırası ile Tablo3.18' de verilmiştir.

Tablo 3.18 : 5.Örnek ağırlık ölçüm değerleri

Örnek başlangıç değerleri	Ağırlık(gr)
Gümüş boru	30.0949
Parafin kağıdı	0.8449
BSCCO TOZ	6.0604

3. Gümüş borunun bir ucu gümüş tıpa yardımı ile kapatılmıştır.
4. BSCCO süperiletken malzeme agat havan içerisinde 1 saat öğütülmüştür.
5. Ölçümler alındıktan sonra karışımın homojenleşmesi ve içindeki nemin yok edilmesi için ısıl işlem ⁽¹⁾ uygulanmış, malzeme agat havanda 15 dk öğütülmüştür.



Şekil 3.14 : Borunun bir ucu kapatılmış şekli

6. Bir ucu kapatılan GB ye yavaş yavaş BSCCO süperiletken tozun sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi mümkün olduğunca yavaş yapılmaya ve iyice sıkıştırılmaya özen gösterilmiştir.

7. Süperiletken GB'nın dolumu yapılan uç kapatıldı.

8. İki ucu kapatılan gümüş boru oksijen ortamında bir saat ısıtılma işlemi⁽²⁾ 'ye tabi tutulmuştur.

9. Hadde işleminde Şekil 3.10'deki hadde kafaları Tablo 3.19'da verilen büyük çaptan küçük çapa doğru adım adım gidilmiştir.

Tablo 3.19 : 5. Örnek haddeleme işlemi ve alınan değerler

H.Çapı (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	L (mm)	Saat	Açıklama
6,00	5,93	5,92	5,93	199	13.30	
5,65	5,62	5,62	5,64	218	13.32	Kopma oldu
5,30	5,29	5,28	5,26	233	13.35	Kopma oldu
5,00	4,94	4,96	4,92	268	13.50	
4,70	4,66	4,66	4,64	282	13.52	
4,40	4,35	4,36	4,36	313	13.55	
4,15	4,12	4,12	4,08	344	13.57	
3,90	3,85	3,84	3,82	381	13.58	
3,70	3,67	3,68	3,67	410	14.00	
3,45	3,43	3,43	3,43	468	14.02	
3,25	3,24	3,22	3,22	515	14.05	
3,05	3,04	3,01	3,03	573	14.07	
2,85	2,78	2,80	2,80	676	14.11	
2,70	2,66	2,67	2,65	728	14.12	
2,55	2,50	2,50	2,50	799	14.16	

10. Yapmış olduğumuz teli şerit haline getirdikten sonra silindirden bir kez geçirerek ezme işlemi yapıldı. Ezme işleminden alınan ölçüm değerleri Tablo verilmiştir.

11. Elde edilen şeritlere ısı işlem ⁽³⁾ uygulanmıştır. Toplama esnasında şerit 2370 mm den kırıldığı gözlenmiştir.

12. Elde edilen şerit 800 °C 20 şer cm ara ile 10 dk ısı işleme tabi tutulmuş ve bu işlem sonrasında şeridin üzerinde şişmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Uygulanan ısı işlemlerin ayrıntıları

(1) Isıl işlem: 800 °C de 2 saat fırınlanmıştır.

(2) GB 800 °C de fırında 5 dk tutulmuştur.

(3) Tel veya şerit 800 °C deki fırında 20 cm aralıklar ile bir uçtan diğer uca kadar 5'er dakika bekletilerek ısı işlem uygulanmıştır.

3.2.6 6. ve 7. Örneğin hazırlanması

1. Tel şerit yapılabilmesi için 25 cm boyunda GB alındı, Tablo 3.20 de örneğin başlangıç tartım ve ebat değerleri verilmiştir.

Tablo 3.20 : 6. Örneğin ağırlık ve uzunluk başlangıç değerleri.

Örnek başlangıç değerleri	Ağırlık (gr)
Gümüş boru	43,9173
Gümüş boru + gümüş tıpa	44,24176
Parafin kâğıdı	0.8449
Borunun vakumlama işlemi sonundaki	53.04094
Uzunluk ölçümleri	Uzunluk(mm)
GB boyu	246
GB İç çap	4.36
GB Dış çap	6.34

2. İki ucu kapatılan gümüş boru oksijen ortamında bir saat ısıtma işlemi ⁽¹⁾ 'ye tabi tutulmuştur.

Tablo 3.21 : 6. Örnek haddeleme işlem basamakları ve ölçüm sonuçları

H.Çapı (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	L (mm)	Saat	Açıklama
6,00	5,90	5,91	5,89		10.05	
5,65	5,64	5,64	5,64	302	10.15	
5,30	5,27	5,28	5,27	328	10.17	
5,00	4,95	4,94	4,93	359	10.28	
4,70	4,67	4,68	4,69	334	10.30	
4,40	4,38	4,35	4,36	435	10.32	
4,15	4,14	4,12	4,13	490	10.34	
3,90	3,87	3,88	3,87	598	10.37	
3,70	3,68	3,66	3,68	518	12.08	
3,45	3,45	3,43	3,42	680	12.24	
3,25	3,20	3,25	3,24	765	12.45	
3,05	3,04	3,02	3,05	860	15.00	
2,85	2,85	2,81	2,80	1000	15.19	
2,70	2,69	2,68	2,69	1100	15.28	ısıtım işlemi ⁽²⁾
2,55	2,55	2,54	2,54	1320	15.19	
2,40	2,38	2,35	2,35	1390		
2,25	2,20	2,22	2,2	1540		
2,10	2,05	2,05	2,04	1740		
2,00	2	2	1,99	1980		
1,85	1,8	1,8	1,8	2290		
1,83	1,61	1,61	1,61	2180+630		Kopma oldu. 630 mm olarak kopan küçük parça ayrıca çekildi.
1,50	1,49	1,49	1,49	2520+730		

Uygulanan ısıtım işlemlerinin ayrıntıları

(1) Hazırlana süperiletken şerit içindeki gazların çıkması amacı ile 700 C e bir saat boyunca tabi tutuldu

(2) 750 C de fırın içerisinde teli 20 şer cm hareket ettirerek ve her seferinde 5'er dakika tutularak ısıtım işlemi uygulandı.



Şekil 3.15 : Değişik devir oranlarında çalışabilen üç metrelik tel çekme cihazı

Tablo 3.22 : 7. örnek haddelme işlem basamakları ve ölçüm sonuçları

H çapı (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	L (mm)	Saat	Devir (d/dk)	Açıklama
Örnek	6.4	6.37	6.46	270			
6,00	5,95	5,96	5,96	289	13:51	1,5	
5,65	5,64	5,63	5,64	300	13:53	1,5	
5,30	5,27	5,27	5,28	340	13:54	3,5	
5,00	4,91	4,94	4,94	373	13:56	3,5	
4,70	4,66	4,67	4,66	410	13:58	4,5	
4,40	4,35	4,34	4,34	465	14:00	4,5	
4,15	4,14	4,13	4,12	520	14:02	4,5	
3,90	3,87	3,86	3,86	572	14:21	8	
3,85	2,82	2,82	2,81	569	14:23	8	
2,75	2,71	2,72	2,71	610	17:41	8	Kopma meydana geldi ısıtıl işlem ⁽¹⁾ uygulandı
2,60	2,59	2,59	2,58	640	18:30	8	
2,55	2,54	2,55	2,53	680	18:32	8	
2,50	2,48	2,49	2,48	710	18:35	8	
2,40	2,36	2,35	2,35	775	18:39	14	
2,30	2,28	2,28	2,28	820	18:40	14	
2,25	2,25	2,24	2,25	860	18:45	14	
2,15	2,14	2,13	2,13	965	18:52	14	
2,10	2,09	2,09	2,09	970	18:54	14	
2,00	1,97	1,97	1,97	1070	18:45	14	
1,90	1,89	1,89	1,89	1140	18:57	14	
1,85	1,83	1,82	1,81	1220	18:59	14	
1,80	1,79	1,79	1,79	1270	19:00	14	
1,70	1,68	1,68	1,68	1440	19:06	21	
1,65	1,61	1,61	1,61	1530	19:15	21	
1,65	1,61	1,61	1,61	1530	19:19	21	
1,60	1,58	1,59	1,57	1580	19:21	21	
1,50	1,49	1,49	1,50	1740	19:25	21	
1,45	1,42	1,42	1,43	1950	19:34	21	
1,40	1,38	1,38	1,39	2030	19:37	21	
1,35	1,34	1,34	1,33	2230	19:41	21	
1,30	1,28	2,28	2,28	2400	19:43	21	
1,25	1,24	1,24	1,25	2550	19:48	21	
1,20	1,16	1,16	1,17	2200	19:48	24	*
1,15	115	115	113	2320	21:30	24	

Uygulanan Isıl İşlemin Ayrıntıları

(1) Kopma olduğu için PROTHERM 3 gözlü fırında 750 ° C de 20 şer cm aralıklar ile 5 dk ısıtma işlemi uygulandı.



Şekil 3.16 : Tel çekme işlemi esnasında meydana gelen kopma

1,15 Çapın altına Grow Rolling aracı ile uç inceltilemediği için daha düşük çapa inilemedi.

* Şekil 3.15'deki Hadde makinesindeki titreşim ve ağzın küçük çaplara uygun olmaması sebebi ile kopma gözlemlendi. Şekil 3.16 'da kopma sonucu oluşan parçanın uzunluğu 670 mm olarak ölçüldü. Kesit küçüldükçe küçük devirlerde mühreye sıvanma ve titreşim oluşabileceği düşüncesi ile devir artırıldı.



Şekil 3.17 : Üretilen süperiletken teller. Şekil 3.18 : Üretilen süperiletken şeritler.

Tablo 3.23 : Telin haddelenmesi sonucunda elde edilen şeritlerin uzunlukları.

Örnek şerit	Başlangıç uzunluğu (mm)	Bitiş uzunluğu (mm)	Devir d/dk
6	2520	2970	10
7	2320	2840	3

3.3 Yalıtım işlemi

3.3.1. Yalıtkan örneğin hazırlanması

Yalıtkan malzemenin hazırlanması için Tablo 2.23’de verilen malzemelerden belli oranlarda alınarak karıştırılmıştır. Şekil 3.19’de gösterilen karışım 700 °C de 2 saat ve 800 °C de 2 saat olmak üzere fırında tavlama işlemi yapılmıştır. Tablo 3.24. Tavlamaya başlamadan önce ve sonra kütle ölçümleri yapılmıştır. Karışım UHU yapıştırıcısı ve Aseton (C_3H_6O) ile tekrar karıştırılarak sıvılaştırılmış ve süperiletken şeritler üzerine sürülmüştür. Uygulama esnasında değişik kalınlıklarda yalıtım oluştuğu gözlenmiştir.

Tablo 3.24 : Süperiletken şerit yalıtkan malzemesi karışım oranları

<u>formül</u>	<u>Kimyasal tanımı</u>	<u>miktar</u>	<u>birim</u>
PbO	kurşun (II) oxide	3	gr
CaCO ₃	kalsiyum karbonat	3	gr
Sr CO ₃	strasyum karbonat	3	gr

Tablo 3.25 : Hazırlanan yalıtkan malzemenin ısıtım işlem öncesi ve sonrası ağırlığı ısıtım işlem sıcaklığı ve süresi

Karışım ağırlığı (ısıtım işlem öncesi)	9	gr
Kap ağırlığı	3.7224	gr
Karışım ağırlığı (ısıtım işlem sonrası)	7,6433	gr
Isıtım işlem sıcaklığı	800	°C
Isıtım işlem süresi	0.5	Saat



Şekil 3.19 : Süperiletken şerit yalıtımında kullanılan malzemeler

3.3.2 2. örnek yalıtkanın hazırlanması

1. Yalıtkanı hazırlamak için Tablo 3.25' teki malzemelerden oluşan bileşik 15 dk süreyle öğütüldü.

Tablo 3.26 : Süperiletken şerit yalıtkan malzemesi karışım oranları

Formül	Kimyasal tanımı	Miktar	Birim
PbO	kurşun (II) oxide	4.00281	gr
CaCO ₃	kalsiyum karbonat	3,99562	gr
Sr CO ₃	strasyum karbonat	3,25541	gr
Toplam		11.25384	gr

2. Karışım Şekil 3.20'deki PROHTERM Kül fırında 800 °C de 2 saat ısıl işleme tabi tutuldu. Fırın ısısı 460 °C ye geldiğinde fırından çıkartıldı ve soğuması beklendi.



Şekil 3.20 : Karışım PROTERM kül fırınında

3. Etilalkol ve Uhu karıştırıldı, karışım keçeyle yedilerek şeritlerin üstüne sürüldü.

Şekil 3.21



Şekil 3.21 : Üzerine yalıtkan malzeme kaplanmış süperiletken şerit

4. Şeritlerin yalıtım işlemlerinin ardından 10 saat kurumaya bırakıldı ve daha sonra 800 ° C de 20 şer cm aralıklar ile 5 er dakika ısıl işleme tutuldu



Şekil 3.22 : PROTHER Furnaces üç gözlü fırın

3.3.3 3. örnek yalıtkanın hazırlanması

1. Yalıtkanı hazırlamak için Tablo 3.25' teki malzemelerden oluşan bileşiğe 15 dk süreyle öğütme işlemi uygulandı.
2. Karışım Şekil 3.20'deki PROHTERM Kül fırında 800 °C de 2 saat ısıtılma tabii tutuldu.
3. Fırın ısısı 650 °C ye geldiğinde fırından çıkartıldı ve soğuması beklendi
4. Bire bir oranında ağaç verniği ile karıştırılan karışım kısım 3.3.2 de hazırlanan yalıtkan örnek üstüne tekrar sünger yardımı ile şeritlerin üstüne sürüldü, Şekil 3.21.
5. Şeritler yalıtım işlemlerinin ardından 2 saat kurumaya bırakıldı.

3.4 Süperiletken magnet sarımı

3.4.1 1. Magnet sarım örneği

3.1.1 de anlatılan yalıtım işlemi yapılmış süperiletken şeritlerden hava çekirdekli transformatörün primer sargısını elde etmek için süperiletken şeritlerden 5. ve 6. şerit yan yana fakat farklı yönlerde sarılarak içteki uçları kısa devre edildi, diğer uçlarından bağlantı yapabilmek amacı ile gümüş teller çıkartıldı. Bu şeritlerin üstüne 3. şerit sekonder bobini sarıldı ve sekonder bobininde uçlarına gümüş teller sarıldı, şekil 3.23. Sarım sayıları ve sarım yönleri Tablo 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.23 : 1. Hava çekirdekli transformatör örneği. İçte ters yönde sarılmış ve orta uçları kısa devre edilmiş iki sargı (primer), dışta tek yönlü sarılmış (sekonder).

Tablo 3.27 : 1. Transformatörü oluşturan şeritler, sarım sayıları ve sarım yönleri

Şerit	Sarım	Uzunluk(mm)	Yönü
6	33	2970	Saat yönünde
5	36	2500	Saat yönünün tersine
3	13	3000	Saat yönünde

Şerit	Sarım	Uzunluk (mm)	Yönü
4	44	4000	Saat yönünde
2	13	2475	Saat yönünün tersine

Tablo 3.28 : 1. Transformatörü oluşturan şeritler, sarım sayıları ve sarım önleri

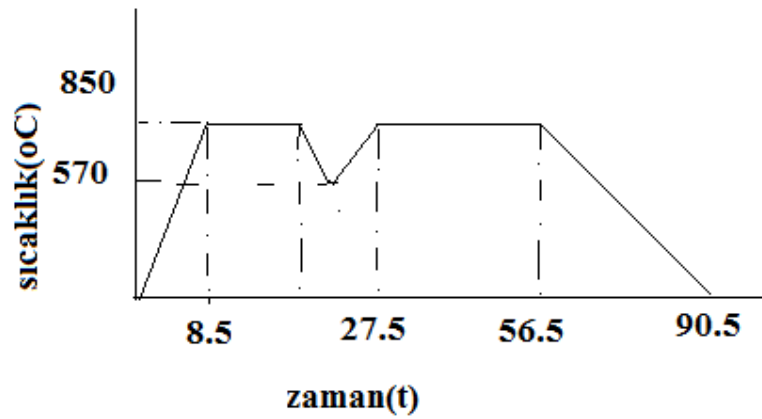
3.4.2 2. magnet sarımı örneği

Bölüm 3.1.1 de anlatılan yalıtım işlemi yapılmış süperiletken şeritlerden hava çekirdekli transformatörün primer sargısını elde etmek için süperiletken şeritlerden 4. şerit, bu şeritlerin üstüne 2. şerit sekonder bobini olarak sarıldı ve sekonder bobininde uçlarına gümüş teller sarıldı, Şekil 3.24. Sarım sayıları ve sarım yönleri Tablo.3.27 de verilmiştir.



Şekil 3.24 : İçte 4. örnek süperiletken rulo şeklinde sarılmış (primer), dışta 2. örnek şerit sekonder bobin olarak rulo şeklinde sarılmış.

Elde edilen bu örnekler PROHTERM kül fırında $100^{\circ}\text{C}/\text{saat}$ artış ile 850°C dereceye getirilmiş, burada 48 saat tutulduktan sonra $25^{\circ}\text{C}/\text{saat}$ ile soğutularak faz oluşumu sağlanmaya çalışılmıştır. Isıl işlem sırasında elektrik kesintisi sebebi ile ısı 570°C ye düşmüş sonra tekrardan fırın çalıştırılmıştır Şekil 3.25 de transformatör ısıl işlem grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.25 : Transformatör ısıl işlem grafiği

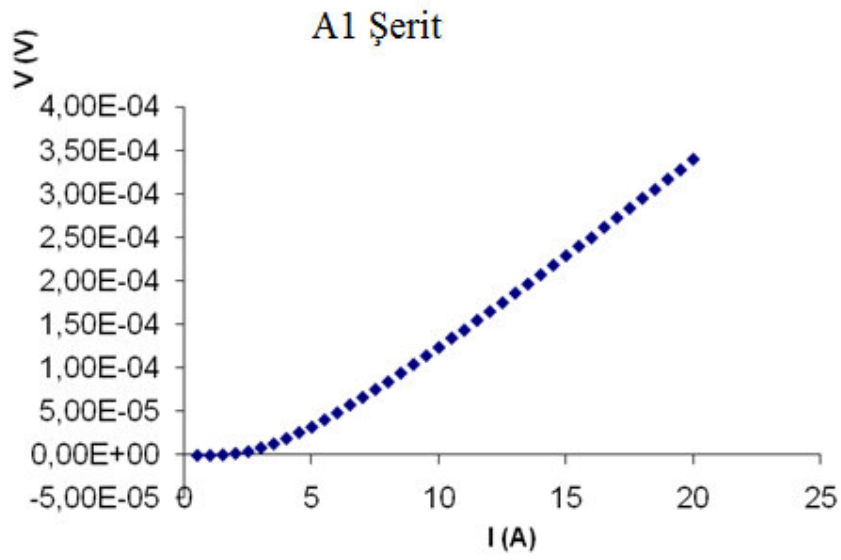
4. DENEYSEL SONUÇLARI

4.1 Süperiletken şeritlerin I-V karakteristik ölçümleri

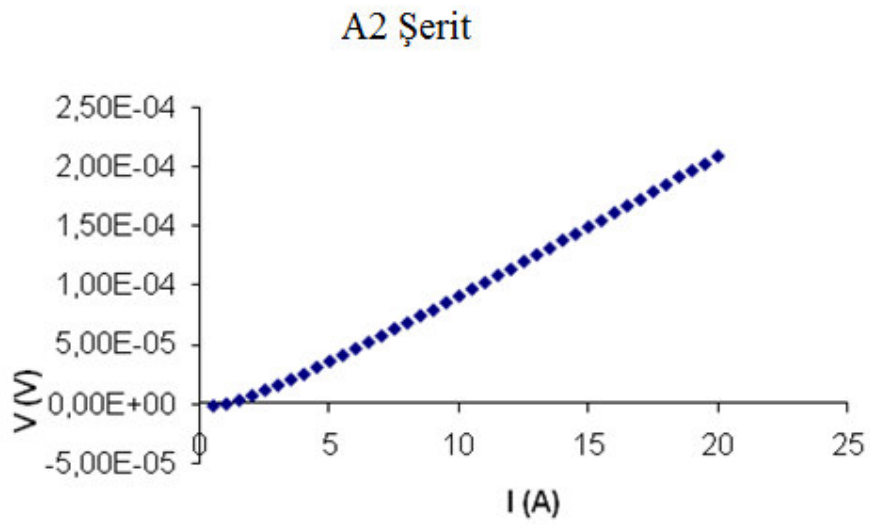
Kısım 3.3.1 de hazırlanan süperiletken şeritlerin yalıtılmasından sonra Tablo 4.1’de verilen 12 adet örnek alınmış ve I-V karakteristikleri incelenmiştir. İnceleme işleminde dört nokta yöntemi uygulanmıştır. Bu incelemeler sonucunda A1,A2,B1,B2,B3,C1,C2 örneklerinden elde edilen grafikler Şekli 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’de verilmiştir. Ölçümler sıvı azot içinde 77 K ‘de alınmıştır.

Tablo 4.1 : Yalıtılmış 12 adet süperiletken şerit numunenin boyutları

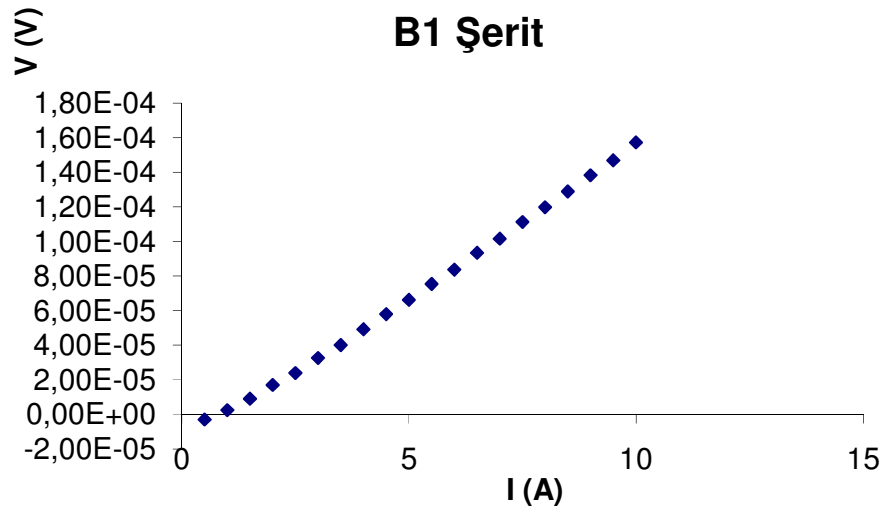
Şerit	Uzunluk (cm)	Genişlik (cm)	Kalınlık (mm)
A1	4.2	1.0	0.38
A2	3.7	0.9	0.39
A3	3.6	0.9	0.38
A4	3.8	1.0	0.41
B1	3.1	0.8	0.40
B2	4.1	0.8	0.52
B3	4.1	0.8	0.40
B4	4.1	0.9	0.34
C1	4.0	0.6	0.35
C2	2.6	0.6	0.36
C3	3.3	0.7	0.31
C4	3.9	0.6	0.32



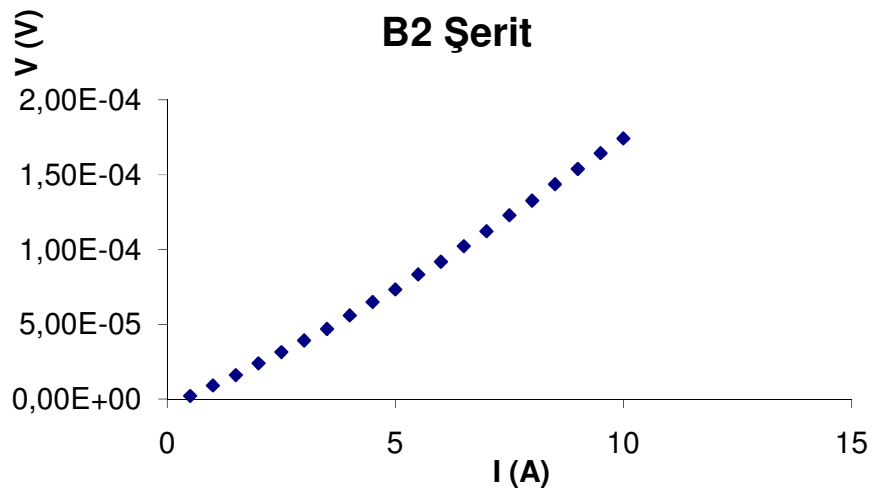
Şekil 4.2 : A1 şeritinin I-V grafiği



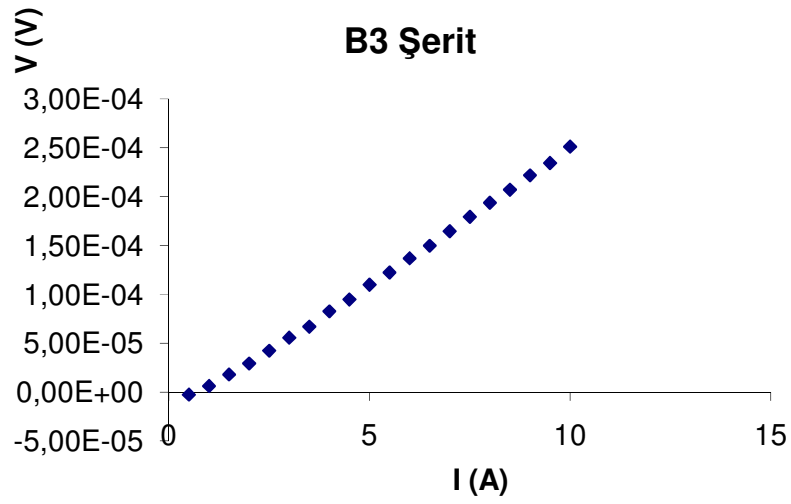
Şekil 4.3 : A2 şeritinin I-V grafiği



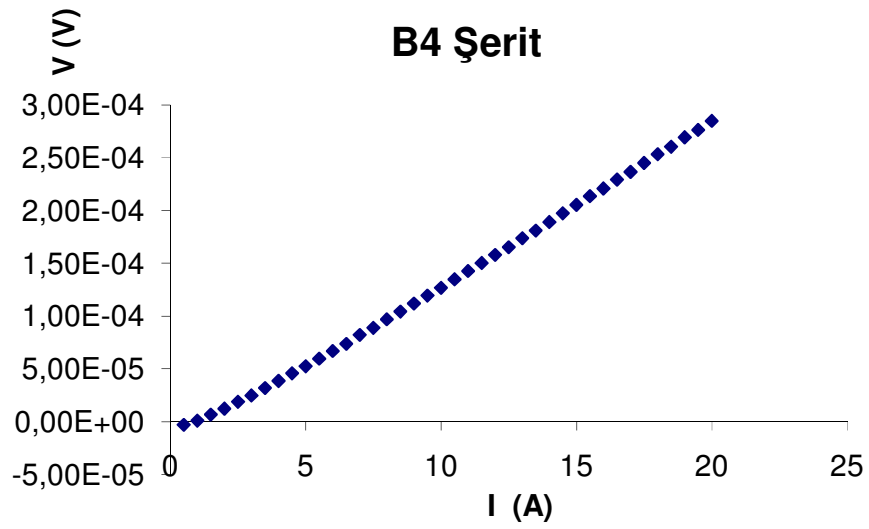
Şekil 4.4 : B1 şeritinin I-V grafiği



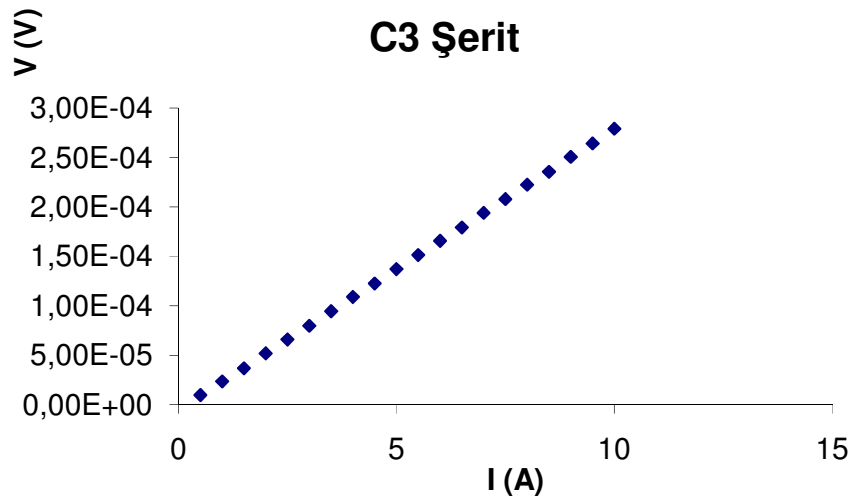
Şekil 4.5 : B2 şeritinin I-V grafiği



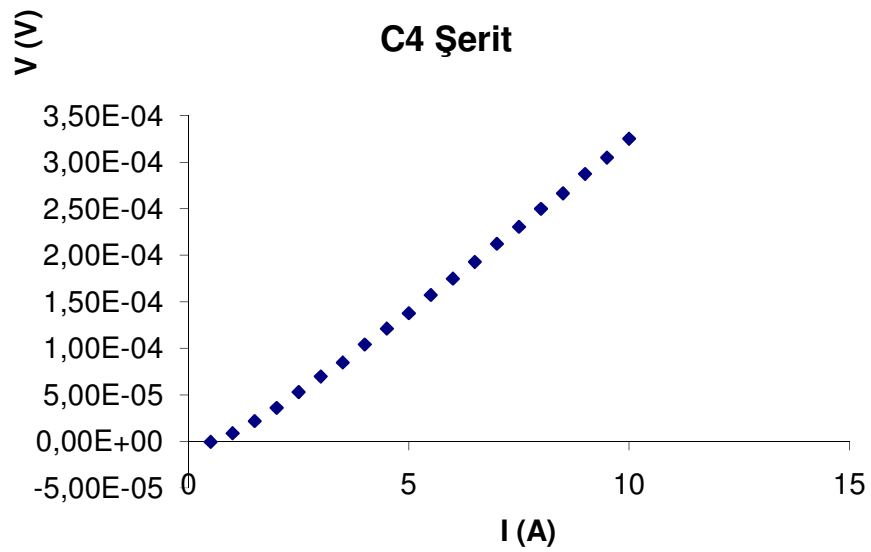
Şekil 4.6 : B3 şeritinin I-V grafiği



Şekil 4.7 : B4 şeritinin I-V grafiği



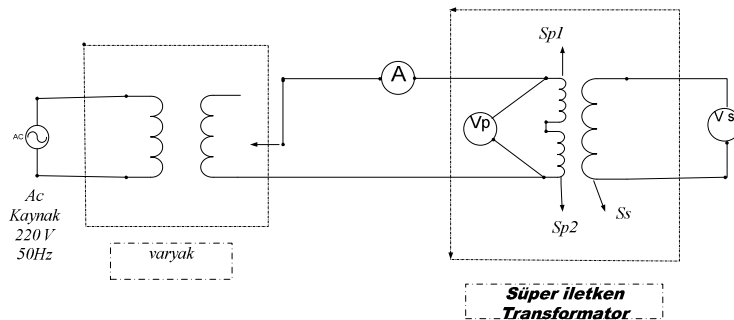
Şekil 4.8 : C3 şeritinin I-V grafiği



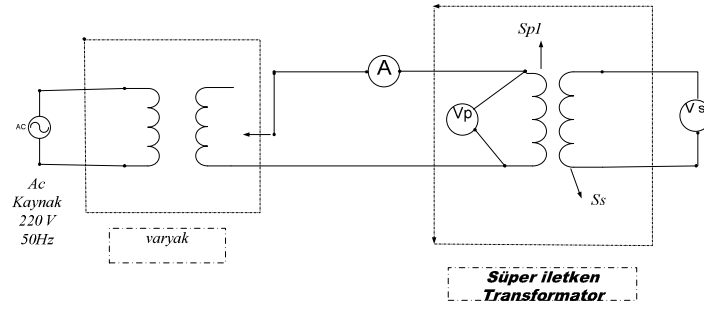
Şekil 4.9 : C4 şeritinin I-V grafiği

4.2 Transformatör deney düzeneği ve I-V karakterizasyonları

Süperiletken şeritler ile yapılan birinci süperiletken transformatörün sargıları arasında kısa devre oluştu. Bunun engellenmesi için primer ile sekonder arasında parafin kâğıdı konulmuştur. Fakat sarımlar arasında kısa devre olduğu için dönüşüm oranı hesaplanamamıştır. Bu kısımdaki deneylerde 50 Hz alternatif gerilim kullanıldı. Deneyler, Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilen deney düzeneğinde oda sıcaklığında gerilim varyak (oto transformatörü) yardımı ile artırılırken primer bobin üzerindeki gerilim ve geçen akım değeri ölçülmüştür, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15. Meydan gelen indüksiyon sonucu sekonderde oluşan gerilim değerleri ölçüldü. Aynı deney 77 K de elde edilmeye çalışılmış fakat kullanılan oto transformatörünün hassasiyeti ve akım taşıma kapasitesi yeterli olmadığı için ölçüm sonuçlarında süperiletkenlik gözlenememiştir.



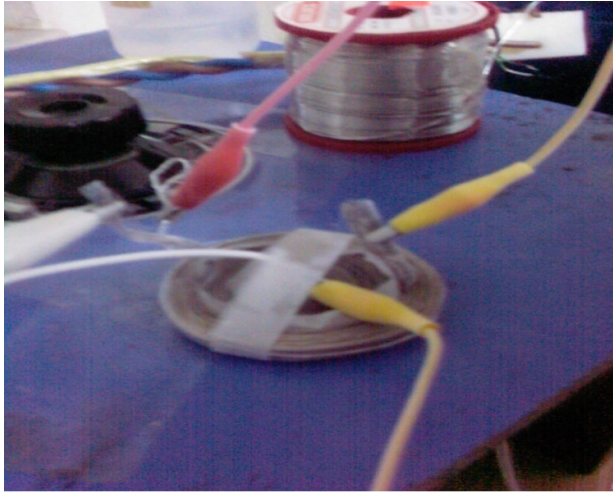
Şekil 4.10 : Primeri çift sargılı süperiletken transformatör deney diyagramı



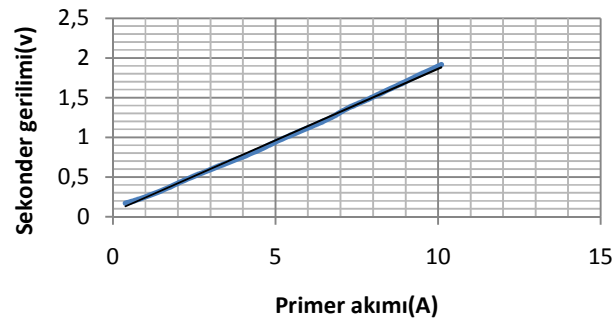
Şekil 4.11 : Primeri tek sargılı süperiletken transformatör deney diyagramı



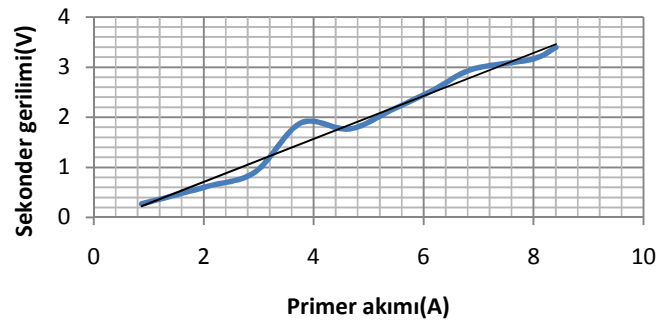
Şekil 4.12 : Süperiletken transformatör deney düzeneği



Şekil 4.13 : 77 K ne daldırılmış süperiletken transformör



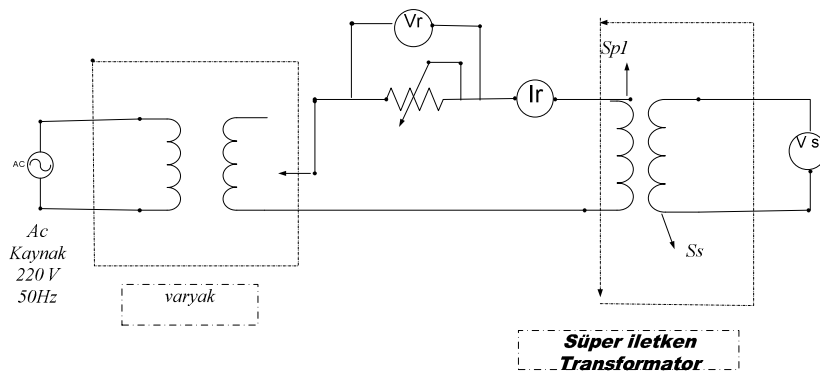
Şekil 4.14 : Oda sıcaklığında I-V grafiği



Şekil 4.15 : 77 K 'de I-V grafiği

Deney düzeneği değiştirilmiş ve süperiletken transformatörün önüne gerilim bölücü olarak bir ayarlı direnç bağlanmıştır. Bölüm 3.3.3 de hazırlanan süperiletkenlerin yalıtımı tam sağlamadığı gözlemlendiği için şeritlerin sargıları arasında tekrardan kağıt ve parafinden oluşan bir yalıtım yapılmıştır. Şekil 4.15’ de hazırlanan deney düzeneği yardımı ile oda sıcaklığında ve 77 K de kaynak gerilimi kademeli olarak artırılmış ve süperiletken transformatörün sekonder bobininde gerilim indüklendiği gözlenmiştir. 50 Ohm’luk ön direnç üzerinden geçen akım değerleri hesaplana akım değerlerinden küçük çıkmıştır (Tablo 4.2). Buradaki farkın ön dirence seri bağlı kablolar ve pirimer direncin sebep olduğu tespit edilmiştir. Süperiletken fazda ölçümlerin sağlıklı olması için ampermetre devreden çıkartılmış akım değeri dirençteki gerilim düşüşünden bulunmuştur. Elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 4. 3 ve Şekil 4.16 da verilmiştir.

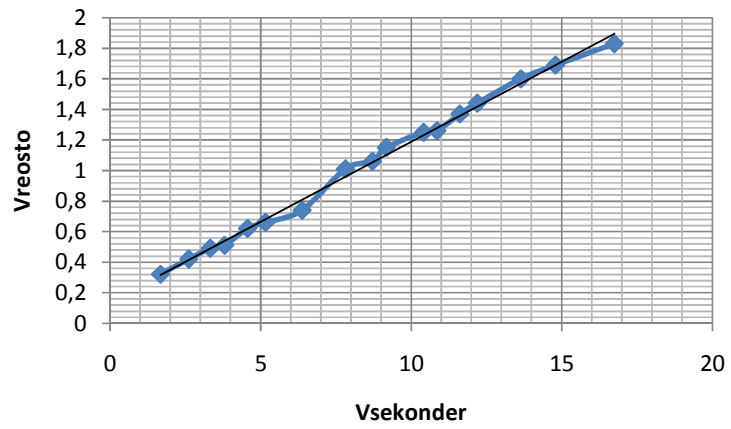
Deneyler sonunda iki uçlu direnç ölçüm yöntemi ile DC akım altında transformatörün süperiletkenliği ölçülmüştür. İki uçlu ölçüm sonucunda süperiletken faz gözlenmemiştir.



Şekil 4.16 : Ön dirençli süperiletken transformatör deney düzeneği V_r : 2 Watt'lık 50 Ohm direnç üstüne düşen gerilim, I_r : Pirimerden geçen akım, V_s : Sekonder den geçen akım

Tablo 4.2 : Oda sıcaklığında 50 Ω 'luk ön direnç altında elde edilen değerler

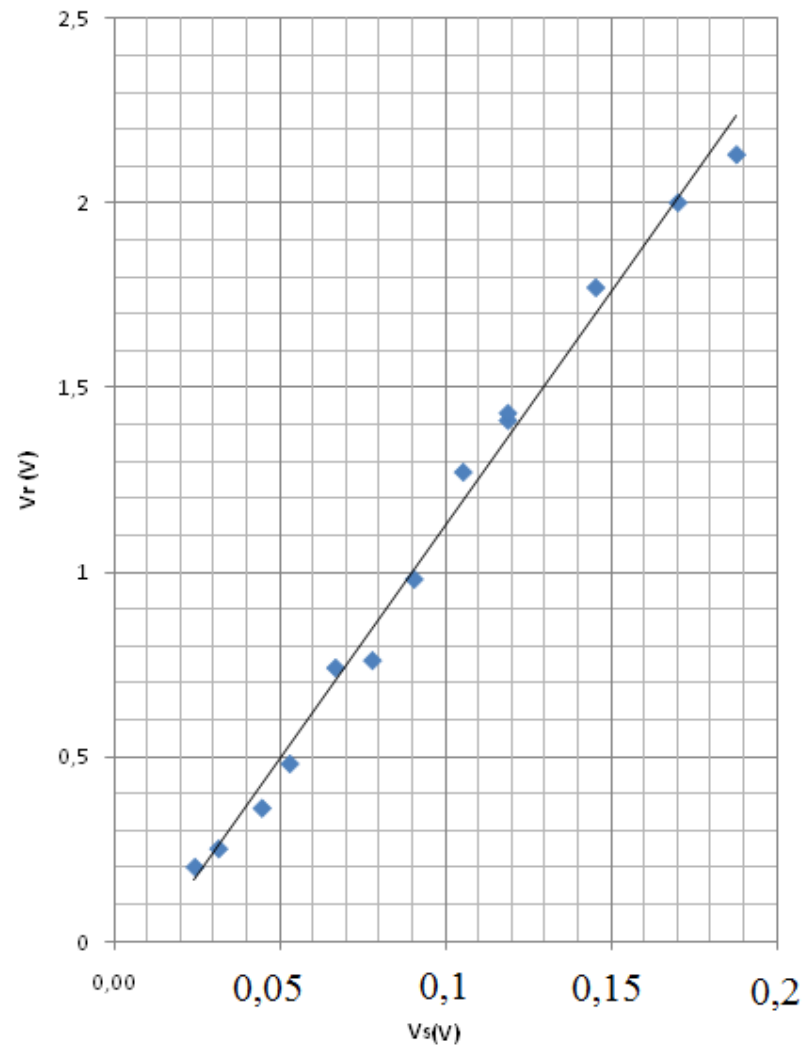
Direnç	50 Ω					
V_r (V)	I_{δ} (A)	I_h (A)	$\Delta I = I_h - I_{\delta}$ (mA)	V_d (V)	V_s (mV)	$k = V_r / V_s$
1,68	0,02	0,0336	0,0136	0,68	0,32	5,25
2,62	0,03	0,0524	0,0224	1,12	0,42	6,24
3,33	0,04	0,0666	0,0266	1,33	0,49	6,80
3,81	0,05	0,0762	0,0262	1,31	0,51	7,47
4,57	0,06	0,0914	0,0314	1,57	0,62	7,37
5,17	0,08	0,1034	0,0234	1,17	0,66	7,83
6,38	0,1	0,1276	0,0276	1,38	0,74	8,62
7,82	0,13	0,1564	0,0264	1,32	1,01	7,74
8,72	0,15	0,1744	0,0244	1,22	1,06	8,23
9,18	0,16	0,1836	0,0236	1,18	1,15	7,98
10,42	0,18	0,2084	0,0284	1,42	1,25	8,34
10,86	0,19	0,2172	0,0272	1,36	1,26	8,62
11,62	0,21	0,2324	0,0224	1,12	1,37	8,48
12,2	0,22	0,244	0,024	1,2	1,44	8,47
13,65	0,25	0,273	0,023	1,15	1,6	8,53
14,8	0,27	0,296	0,026	1,3	1,69	8,76
16,75	0,31	0,335	0,025	1,25	1,83	9,15



Şekil 4.17 : Oda sıcaklığında V_r ve V_s değişim oranları

Tablo 4.3 : 77 Kelvin' de 50Ω luk ön direnç yardımı ile elde edilen V_r ve V_s değerleri

Direnç		50 Ω
V_r (V)	V_s (mV)	Dönüşüm Katsayısı(k)
2,43	0,2	12,15
3,14	0,25	12,56
4,45	0,36	12,36
5,29	0,48	11,02
6,67	0,74	9,01
7,78	0,76	10,24
9,04	0,98	9,22
10,52	1,27	8,28
11,87	1,41	8,42
11,87	1,43	8,30
14,52	1,77	8,20
17	2	8,50
18,77	2,13	8,81



Şekil 4.18 : 77 K ' de elde edilen V_r , V_s değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Süperiletken şeritlerin üretimi esnasında, BSCCO süperiletken tozların iyice dövülerek homojenleşmesine ve ısıl işlem uygulanarak içerisinde var olan nemin giderilmesine çalışılmıştır. GB'nun doldurulması esnasında tıkaç yardımı ile konulan her örnek sıkıştırılmıştır. İyi sıkıştırılmadığında GB şeritler üzerinde şişmeler meydana geldiği gözlenmiştir. Doldurma işlemi bittikten sonra oksijen ortamında ısıl işlem uygulandığında, süperiletken dolu gümüş borularda şişmenin daha az olduğu tespit edilmiştir. Şeritlerdeki kabarmanın ısıl işlem esnasında karbonun yanması sonucu olduğu düşünülmektedir. Gümüş borunun hadde aralıklarının büyük olması durumunda kopmalar ve şeritlerin üzerindeki gerilmelerin fazlaştığı gözlemiştir. Hadde çap sayısını artırılması durumunda daha az kopma meydana gelmiştir. Haddeleme işlemi esnasında süperiletken tellerin ısındığı gözlenmiştir. Arada ısıl işlem uygulandığında çekme işlemi daha kolay yapılmıştır. Büyük çaptan küçük çapa doğru gidilirken çekme makinesinin hızının artırılması durumunda kopmaların azaldığı gözlenmiştir.

Süperiletken haddeleme işleminde 1.15 mm' lik çapa inilen örnek üzerinde hiç şişme gözlenmemiş olması, haddeleme işleminin mümkün olduğunca çok hadde çapından geçirilerek yapılmasının düzgün şerit üretiminde önemli olduğunu göstermiştir. Büyük hadde ile tel halindeki süperiletkenin şerit haline getirilmesi

enasında iki yönlü olarak hadde uygulandığında şeritlerin daha düzgün olarak çıktığı gözlenmiştir.

Hazırlanan yalıtkan malzemenin süperiletken şeridin küçük bir parçasına sürüldüğünde yalıtkan olduğu fakat uzun şeritlere sürümünde asetonun çabuk uçucu olması ve Uhu'yu çözmesi sebebi ile şeritler üzerinde tam yalıtkanlık sağlanmamıştır. Bunda şeritlerin üzerine keçe yardımı ile sürülmesi ve bunun sonucu olarak her yerde homojen bir yalıtkan tabakanın olmamasının da etkili olduğu düşünülmektedir. Yeniden yapılan yalıtım işleminde Uhu ve aseton karışımı yerine ağaç reçinesi ve yalıtkanın malzemenin birebir oranda sürülmesine karar verilmiştir. Bu uygulamanın sonucu bölgesel yalıtımın oluşu fakat transformatör sarımı için yeterli olmadığı gözlenmiştir, bunun sonucunda şeritler arasına kâğıt ve parafin konularak bir yalıtım oluşturulmuştur.

Yalıtkan sürülmüş transformatörlerin 850 °C de kül fırında 48 saat bekletilmesi işleminden sonra şeritler üzerinde şişme oluşmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin daha önceki ısı işlemlerde şerit içerisindeki gazların ve karbonun tamamen giderilmiş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Süperiletken deney düzeneğinde kullanılan oto transformatöründen sonra gerilim bölücü olarak bir ayarlı ön direnç kullanılmıştır. Bu ölçümlerin sonucunda ölçülen pirimer akımı ile hesaplanan arasında farkın oluştuğu bu farkında devredeki seri olarak bağlı pirimer bobin direnci ve kablo bağlantılarının oluşturduğu düşünülmüştür. Ölçüm sonucunda dönüşümün oranlarının birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. 77 K'deki ölçümlerde devre üzerinde bulunan ve ölçüme zarar vereceğini düşünülen aletler ve bağlantılar sökülerek mümkün olduğunca direk ölçüm alınmaya çalışılmıştır.

Süperiletken şeritlerin magnet sarımlarının karakterizasyonların çıkartılması yalıtkanlık tam sağlanamadığı için kesin olarak tespit edilememiştir. Süperiletken şerit üretimi, yalıtılması ve magnet sarımı işlemlerinin ülkemizde ilk defa yapılıyor olması kullanılan üretim ve test sistemlerinin de geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ONNES H.K.,1911. Akad van Weten schappen (Amsterdam) 14:113,818.
- [2] COOPER L.N., Almason C .,Estrada J., Datta T ., Sheng Z.,Hermann A.M. and Matson, R.J., 1988.
- [3] BEDNORZ J.G. and Müller K.A., 1986. Possible high Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. Zeitschrift für physik B,64,189.
- [4] SLEIGHT A.W.,1988. Chemistry of high-temperature superconductors. Science 242,1519.
- [5] KITTEL C. 1,1976. Solid State Physics (5th.Edition).
- [6] JEFFEREY W.L., 1990 High temperature Superconductivity. University of Maryland. College Park
- [7] KAYNAR A., 1992 Yüksek Sıcaklık Süperiletken Malzemelerin Hazırlanması ve İncelenmesi.
- [8] ROSE –INNES.A.C., 1978. Introduction to Superconductivity, (second edition).
- [9] ASKERZADE 2005,Süperiletkenlik Fiziğine Giriş1,2.

[10] BİLGEÇ 2004, Sb2O3 Katkılı YBCO Süperiletken Seramiklerin karakterizasyonu.

[11] MEİSSNER, W.andOchsenfeld, R.1933, Superconductivity. Naturwiss. 21.

[12] LONDON,F and London, H. 1935 Proc.Roy.Soc.A149,71.

[13] GINSBURG V. L. and Landua L. D. ,1950. On the theory of superconductivity. J. E. T. P. USSR, 20 ; 1064.