

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İNCE FİLMLERDE HALL EFEKT TEKNİĞİ İLE  
MANYETOREZİSTANS ÖLÇÜMÜ**

**Ahmet KAYA**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ**

**Yozgat 2019**

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İNCE FİLMLERDE HALL EFEKT TEKNİĞİ İLE  
MANYETOREZİSTANS ÖLÇÜMÜ**

**Ahmet KAYA**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ**

**Yozgat 2019**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı 70111715004 numaralı öğrencisi Ahmet KAYA' nın hazırladığı “İnce filmlerde Hall Efekt Tekniği ile Manyetorezistans ölçümü” başlıklı Doktora / Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 17/05/2019 günü saat 14.00’ da yapılmış, tezin onayına oy çokluğu / oy birliğiyle karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Fatma MEYDANERİ TEZEL

Üye : Doç. Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ

Üye : Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ (Danışman)

*İbrahim Kaya*  
*Hamza Kemal Akyıldız*  
*Recep Şahingöz*

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 30.05./2019 tarih ve 26. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

30/05/2019

*M. Saçmacı*  
Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI  
Müdür

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	2
2. İNCE FİMLER.....	3
2.1. İnce Filmlerin Tanımı ve Yapısı .....	3
2.2. İnce Filmlerin Kullanım Alanları .....	4
2.3. İnce Film Üretim Teknikleri.....	5
2.3.1. Fiziksel Buharlaştırma Tekniği (PVD).....	5
2.3.1.1. Rezistans ile Buharlaştırma (Resistive Evaporation) Tekniği .....	6
2.3.1.2. İndüksiyon ile Buharlaştırma Yöntemi .....	7
2.3.1.3. Ark Yöntemi ile Buharlaştırma.....	8
2.3.1.4. Elektron Demeti ile Buharlaştırma .....	10
2.3.1.5. Darbeli Lazer ile Buharlaştırma Tekniği.....	12
2.3.2. Sıçratarak (Sputtering) Biriktirme Tekniği.....	13
2.3.2.1. Diyot Sıçratma Yöntemi .....	16
2.3.2.2. Triyot Sıçratma Yöntemi.....	17
2.3.2.3. Manyetik alanda sıçratma yöntemi .....	18
2.3.2.4. İyon Demeti ile Sıçratma .....	19
2.3.3. Moleküler Işın Epitaksı (MBE) .....	20
2.3.4. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD).....	22
2.3.5. Dönel Kaplama (Spin Coating) Tekniği .....	23

<b>3. MANYETİK ÖZELLİKLER .....</b>	<b>24</b>
3.1. Manyetizma .....	25
3.2. Manyetik Duygunluk ve Manyetik Geçirgenlik.....	26
3.3. Curie Sıcaklığı .....	28
3.4. Mıknatıslanma (Histerisiz) Eğrisi .....	28
3.5. Manyetostriksiyon .....	30
3.6. Manyetik Anizotropi .....	31
3.7. Hall Olayı .....	32
3.8. Mobilite ve Taşıyıcı Yoğunluğu.....	36
3.9. Manyetorezistans .....	37
3.9.1. Normal Manyetorezistans (OMR) .....	39
3.9.2. Anizotropik Manyetorezistans (AMR) .....	39
3.9.3. Devasa Manyetorezistans (GMR).....	41
3.9.4. Kolossal Manyetorezistans(CMR).....	44
3.9.5. Tünelleme Manyetorezistans (TMR).....	44
<b>4. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>47</b>
4.1. Numunelerin Hazırlanması.....	47
4.2. Van der Pauw (VDP) Tekniği ile Manyetorezistans Ölçümü .....	50
4.3. Hall Etkisi Ölçümü.....	52
<b>5. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>55</b>
<b>SONUÇ .....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>74</b>

# İNCE FİLMLERDE HALL EFEKT TEKNİĞİ İLE MANYETOREZİSTANS ÖLÇÜMÜ

**Ahmet KAYA**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2019; Sayfa: 86**

**Tez Danışmanı Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ**

## ÖZET

Bu çalışmada 9 nm kalınlığındaki tek katmanlı Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> film, Silisyum (Si) alttaş üzerine sıçratma ile biriktirme tekniği ile elde edilmiştir. İlk olarak bu numuneye 300 K sabit sıcaklıkta  $\pm 1,4$  KG aralığında değişen dış manyetik alan uygulanmıştır. Direnci ( $3,90 \times 10^{-5}$  den –  $3,83 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^3$  'e) azalma, taşıyıcı yoğunluğu ( $1,29 \times 10^{21}$  den –  $3,03 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  'e) artış ve Hall mobilitesinde ( $1,24 \times 10^2$  'den -  $5,29 \times 10^1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  'e) azalma gözlemlenmiştir. İkinci olarak numuneye 7,5 KG sabit dış manyetik alanda 20-300 K arasındaki sıcaklıklar uygulandığında dirençte ( $2,54 \times 10^{-5}$  'den –  $3,84 \times 10^{-5}$  'e  $\Omega \text{ cm}$ ) artış, taşıyıcı yoğunluğunda ( $2,99 \times 10^{21}$  'den -  $1,68 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  'e ) azalma, Hall mobilitesinde ( $7,98 \times 10$  'den –  $9,53 \times 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  'e) artma gözlemlenmiştir. Aynı numunenin manyetik alan olmadan direnç değerinin ( $2,63 \times 10^{-5}$  'den –  $3,91 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}$  'e) daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak 25-350 K sıcaklık aralığında ve her sıcaklık değeri için  $\pm 1,4$  KG değişen manyetik alanlarda direnç değişimi izlenmiştir. Manyetik alana bağlı olarak sıcaklığın artması ile direncin azaldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetorezistans, Taşıyıcı yoğunluğu, Mobilite, İnce film, Hall Etki.

# MAGNETORESISTANCE MEASUREMENT OF THIN FILMS WITH HALL EFFECT TECHNIQUE

Ahmet KAYA

Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechatronics Engineer  
Master of Science Thesis

2019; Page: 86

Thesis Supervisor: Prof. Dr Recep ŞAHİNGÖZ

## ABSTRACT

In this study, monolayer film of Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> which is 9 nm thickness has been grown on Si wafer with sputtering deposition technique. Firstly, the  $\pm 1.4$  KG variable external magnetic field was applied to this sample at a constant temperature of 300 K. Decrease in resistance ( $3,90 \times 10^{-5}$  -  $3,83 \times 10^{-5}$   $\Omega$  cm), increase in carrier density ( $1,29 \times 10^{21}$  -  $3,03 \times 10^{21}$  cm<sup>-3</sup>) and decrease in Hall mobility ( $1,24 \times 10^2$  -  $5,29 \times 10^1$  cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>) were observed. Secondly, the 7,5 KG constant external magnetic field was applied between 20-300 K temperature, and following changes were observed; increase in the resistance ( $2,54 \times 10^{-5}$  -  $3,84 \times 10^{-5}$   $\Omega$  cm), decrease in carrier density ( $2,99 \times 10^{21}$  -  $1,68 \times 10^{21}$  cm<sup>-3</sup>) and an increase in the Hall mobility ( $7,98 \times 10$  -  $9,53 \times 10$  cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>). It was observed that the same sample had higher resistance value ( $2,63 \times 10^{-5}$  -  $3,91 \times 10^{-5}$   $\Omega$  cm) without a magnetic field. Finally, change in resistance was observed in the  $\pm 1,4$  KG magnetic field range between 25-350 K temperature value. It was observed that the resistance decreased as the temperature increased due to the magnetic field.

Keywords: Magnetoresistance, Carrier density, Mobility, Tiny Film, Hall Effect,

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım boyunca derin tecrübeleriyle beni yönlendiren ve her aşamada destek veren, yardım ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Recep ŞAHİNGÖZ' e, teşvik ve yardımlarından dolayı sayın Prof. Dr. Selim ACAR' a,

Ayrıca çalışmamın her aşamasında gösterdikleri sabır, anlayış ve fedakârlıklarından dolayı kıymetli eşime ve çocuklarıma,

Bütün içtenliğimle teşekkür ederim.





## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 3.1:</b> Bazı ferromanyetik saf malzemelerin Curie sıcaklıkları. ....	28
<b>Tablo 3.2:</b> Bazı ferromanyetik saf malzemelerin doyum manyetizasyonu değerleri .....	29
<b>Tablo 3.3:</b> Bazı yarı iletkenlerin mobilite ve taşıyıcı yoğunlukları [79].....	37
<b>Tablo 5.1:</b> 5000G, 5500G ta sıcaklık direnç değişimi ( $\Omega$ cm).....	64
<b>Tablo 5.2:</b> 5000G, 5500G ta normalize edilmiş sıcaklık direnç değişimi ( $\Delta R/R_{max}$ ) .....	65

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1:	a) Tek katmanlı b) Çok katmanlı ince filmlerin şematik gösterimi.....	4
Şekil 2. 2:	Rezistanslı buhar biriktirme sistemi[16].....	7
Şekil 2. 3:	Endüktif buharlaştırma sistemi[21] .....	8
Şekil 2. 4:	Ark izi plazma oluşumunun şematik gösterimi [23].....	9
Şekil 2. 5:	Katodik ark buharlaştırma sistemi [17] .....	10
Şekil 2. 6:	Elektron demeti buharlaştırma sistemi [16,29-31] .....	11
Şekil 2. 7:	Penn State University EB-PVD laboratory de kullanılan bir elektron demeti buharlaştırıcı .....	12
Şekil 2. 8:	Darbeli Lazer biriktirme sistemi diyagramı [32] .....	13
Şekil 2. 9:	Sıçratma Yöntemi [34].....	14
Şekil 2. 10:	Sıçratma ile kaplama mekanizması [39].....	15
Şekil 2. 11:	Diyot sıçratma sistemi şematik diyagramı a) DC b)RF [16,42] .....	17
Şekil 2. 12:	Triyot sıçratma yöntemi şematik diyagramı [43,32,44] .....	17
Şekil 2. 13:	Magnetron sıçratma mekanizması [16,46].....	19
Şekil 2. 14:	İyon demeti sıçratma yöntemi şematik gösterimi[16] .....	19
Şekil 2. 15:	Moleküler ışın epitaksi büyütme şeması [50].....	21
Şekil 2. 16:	Basit bir RHEED sisteminin şematik gösterimi [51].....	22
Şekil 2. 17:	Kimyasal buhar biriktirme tekniği şematik gösterimi [55].....	23
Şekil 2. 18:	Dönel kaplama yöntemi oluşum aşamaları [58] .....	24
Şekil 3. 1:	Elektron spin yönelimi.....	25
Şekil 3. 2:	Manyetik moment dizilişlerinin şematik gösterimi[61].....	26
Şekil 3. 3:	Histerisiz çevrimi .....	29
Şekil 3. 4:	a) pozitif b) negatif manyetostriksiyona bağlı deformasyonlar .....	31
Şekil 3. 5:	Demir ve nikel için manyetiklenme eğrileri [76].....	32
Şekil 3. 6:	Hall etkisinin şematik diyagramı .....	33
Şekil 3. 7:	Hall gerilimlerinin ölçümü.....	34
Şekil 3. 8:	Kristal yapı kusurlarının mobiliteye etkisi [79].....	36
Şekil 3. 9:	Bazı Manyetorezistans türlerinin şematik gösterimi [88].....	39
Şekil 3. 10:	Permalloy da manyetik alan akım ile aynı doğrultuda ( $\rho \parallel$ ) ve akıma dik olduğunda $\rho \perp$ anizotropik manyetorezistansın şematik gösterimi[84,94].....	40
Şekil 3. 11:	Anizotropik manyetorezistansın şematik gösterimi [84].....	41
Şekil 3. 12:	Devasa manyetorezistan [95].....	42

<b>Şekil 3. 13:</b>	Devasa manyetorezistansın oluşumunun şematik gösterimi [89].....	43
<b>Şekil 3. 14:</b>	Tünelleme manyetorezistans yapının şematik gösterimi .....	45
<b>Şekil 3. 15:</b>	Manyetorezistansın paralel ve anti paralel hizalanması akım modeli[103].....	46
<b>Şekil 4. 1:</b>	Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı ve kontrol ünitesi .....	48
<b>Şekil 4. 2:</b>	Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı .....	48
<b>Şekil 4. 3:</b>	Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazına numenin Van der Pauw metoduna göre bağlanması .....	49
<b>Şekil 4. 4:</b>	Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı bilgisayar programı kullanıcı arayüzü.....	49
<b>Şekil 4. 5:</b>	Hall ölçümünde kullanılan örnek geometriler .....	50
<b>Şekil 4. 6:</b>	Van der Pauw yöntemi ile yüzey direnci hesaplama .....	51
<b>Şekil 4. 7:</b>	Van der Pauw metodu ile Hall gerilimi ölçümü .....	53
<b>Şekil 5.1:</b>	300 K sabit sıcaklıkta direncin uygulanan manyetik alan ile değişimi.....	55
<b>Şekil 5. 2:</b>	300 K sabit sıcaklıkta taşıyıcı yoğunluğunun manyetik alan ile değişimi.....	55
<b>Şekil 5. 3:</b>	300 K sabit sıcaklıkta Hall Mobilitesinin manyetik alan ile değişimi ..	56
<b>Şekil 5. 4:</b>	Yük taşıyıcı yoğunluğunu sıcaklık ile değişimi.....	57
<b>Şekil 5. 5:</b>	Hall mobility sıcaklık ile değişimi .....	57
<b>Şekil 5. 6:</b>	Manyetik alan uygulanmadan ve manyetik alan uygulandığında direncin sıcaklık ile değişimi .....	58
<b>Şekil 5. 7:</b>	350K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	59
<b>Şekil 5. 8:</b>	325K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	59
<b>Şekil 5. 9:</b>	300K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	60
<b>Şekil 5. 10:</b>	275K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	60
<b>Şekil 5. 11:</b>	250K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	61
<b>Şekil 5. 12:</b>	200K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	61
<b>Şekil 5. 13:</b>	150K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	62
<b>Şekil 5. 14:</b>	105K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	62
<b>Şekil 5. 15:</b>	25K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.....	63
<b>Şekil 5. 16:</b>	25-350 K sıcaklıklarda $\pm 1.4$ KG değişken dış manyetik alan uygulanması ile elde edilen direnlerin normalize edilmiş grafiği.....	64

## KISALTMALAR LİSTESİ

$\sigma$	: Numune Direnci
$\mu_p$	: Taşıyıcı Mobilitesi
$\rho_H$	: Belirli Bir Manyetik Alandaki Direnç
$\rho_0$	: Sıfır Manyetik Alandaki Direnç
$\mu_0$	: Serbest Uzayın Manyetik Geçirgenliği
<b>A</b>	: Levha Alanı
<b>AMR</b>	: Anizotropik Manyetorezistans
<b>B</b>	: Manyetik İndüksiyon
<b>BMR</b>	: Boyuna Manyetorezistans ( $\rho_{  }$ )
<b>C</b>	: Curie sabiti
<b>CMR</b>	: Kolossal Manyetorezistans
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>d</b>	: Levha Genişliği
<b>DC</b>	: Doğru Akım
<b>E</b>	: Elektrik Alan
<b>EMR</b>	: Enine Manyetorezistans ( $\rho_{\perp}$ )
<b>FB</b>	: Manyetik Kuvvet
<b>GaAs</b>	: Galyum Arsenit
<b>GMR</b>	: Devasa Manyeto Rezistans
<b>H</b>	: Manyetik Alan
<b>H<sub>c</sub></b>	: Koersivite
<b>H<sub>s</sub></b>	: Doyum Miknatıslanması
<b>I</b>	: Akım
<b>InAs</b>	: İndiyum Arsenik
<b>J</b>	: Akım Yoğunluğu
<b>M</b>	: Miknatıslanma
<b>MF</b>	: Medium (Orta) Frekans ( $f=1-66\text{KHz}$ )
<b>MR</b>	: Manyetorezistans
<b>M<sub>s</sub></b>	: Doyum Miknatıslanması

<b>n</b>	: Yarı İletkendeki Elektron Yoğunluğu
<b>NMR</b>	: Normal Manyetorezistans
<b>n<sub>s</sub></b>	: Hacimsel Taşıyıcı Yoğunluğu (Elektron)
<b>OMR</b>	: Normal Manyetorezistans
<b>p<sub>0</sub></b>	: Yarı İletkendeki Deşik Yoğunluğu
<b>p<sub>s</sub></b>	: Hacimsel Taşıyıcı Yoğunluğu (Deşik)
<b>q</b>	: Birim Yük
<b>R<sub>A</sub></b>	: Van Der Pauw Karakteristik Direnç
<b>R<sub>AP</sub></b>	: Ferromanyetik Tabakalardaki Momentlerin Anti Paralel Olduğu Durumdaki Direnç
<b>R<sub>B</sub></b>	: Van Der Pauw Karakteristik Direnç
<b>RF</b>	: Radyo frekansı (f=0.44-1.76MHz)
<b>R<sub>H</sub></b>	: Hall Katsayısı
<b>RHEED</b>	: Yüksek Enerjili Elektron Kırınımı Yansıması
<b>R<sub>P</sub></b>	: Momentlerin Paralel Olduğu Durumdaki Direnç
<b>R<sub>s</sub></b>	: Yüzey Direnci
<b>t</b>	: Levha Kalınlığı
<b>T<sub>c</sub></b>	: Curie sıcaklığı
<b>TMR</b>	: Tünelleme Manyetorezistans
<b>V<sub>d</sub></b>	: Taşıyıcı Hızı
<b>VDP</b>	: Van der Pauw
<b>χ</b>	: Manyetik Duygunluk
<b>ΔV<sub>H</sub></b>	: Hall Gerilimi

## 1. GİRİŞ

İnce filmlerin modern teknoloji içinde kullanımı oldukça yaygındır [1]. Manyetorezistif sensörler, yüksek yoğunluklu bilgi depolama ve mekanik araçlarda konum/hız izleme gibi teknolojilerde kritik bileşendir [2]. İnce film teknolojileri kullanılarak kaplanmış materyaller ve uygulamalar çok çeşitlidir ve günlük hayatımızda bizleri çepeçevre sarmıştır. Modern mikroelektronik için silikon alttaş üzerinde büyütülmüş işlemciler ve bellek yongaları, matkap uçlarındaki sert kaplamalar, değerli taşlar üzerinde dekoratif tabakalar, cam üzerine yansıma önleyici kaplamalar, esnek güneş pilleri, tıbbi cihazlar üzerine anti bakteriyel metal kaplamalar sayılabilecek örnekler arasındadır. Kaplamalar ve ince film teknolojileri, diğer alanların yanı sıra sürtünme, aşınma, yağlama, termoelektrik, güvenlik ve akıllı algılama uygulamalarındaki yeni kullanımlara ayak uydurmak için hızla ilerlemektedir. Bu anlamda, ince film kaplamalar ve yapılar daha belirgin özellikleri, yeni geometriler, geniş alanlar, heterojen malzemelerin kullanımı, esnek ve sert kaplama yüzeyleri ile ince film yapıları üretmek için daha gelişmiş performans ve özellikleri ile endüstrinin sunduğu yeni zorluklara yanıt olarak daha karmaşık hale gelmektedir [3,4].

İnce film teknolojisi, elektronik aygıtların küçültülmesine imkân vermesi ve oldukça ekonomik avantajlara sahip olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Yarıiletken filmler ilk olarak 1838 yılında elektroliz yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra 1852 yılında kimyasal tepkime ve sıçratma (glow discharge sputtering) yöntemleri ile metal filmler üretilmiştir [5]. İnce film teknolojisi, kolay uygulanmasından ötürü son zamanlarda giderek yaygınlaşmıştır. Ayrıca tüm yapıyı kompozit üretmekten daha ucuza mal olmaktadır. İnce film teknolojisi ile malzeme tüketimi daha az olduğundan, yüksek teknolojik malzemelerin üretiminde daha çevreci çözümler sunar [6]. Teknolojinin gelişmesi ve büyümesine paralel olarak özellikle manyetik materyallerin üretimi ve bu materyallerin fiziksel, kimyasal ve manyetik özellikleri büyük önem taşımaktadır [7].

Endüstriyel uygulamalarda daha az enerji ile daha yüksek kapasitede bilgi depolayabilecek malzemelere gereksinim vardır. Yüksek hassasiyete sahip

malzemelere ihtiyaç duyulması ile düşük manyetik alanda çok büyük manyetik direnç (Giant Magnetoresistance, GMR) gösteren yapıları elde etmeye yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu nedenle yumuşak ferromanyetik malzemelerden oluşan katmanlı yapıların elektrodepozisyonu ilgi çekmektedir. Ferromanyetik malzemeler gibi Permalloy ( $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ) katmanlı yapılarda, yüksek değerde alan duyarlılığına sahip olmaları nedeniyle teknolojik açıdan en iyi adaylar arasındadır. Permalloy katmanlı yapıların düşük koersivite ( $H_c$ ) ve düşük doyum alanına ( $H_s$ ) sahip olmaları karakteristik özellikleridir [8,9]. Bu tez çalışmasında, Permalloy olarak isimlendirilen, yüksek manyetik geçirgenlik özelliğine sahip  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  özel alaşımı  $\text{SiO}_2$  alttaş üzerine 9 nm kalınlığında sıçratma ile biriktirme (Sputtering depositon) yöntemi ile büyütülmüştür ve bu filmin sıcaklık ve manyetik alana bağlı olarak özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, daha önce bu ince filmlerin özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar ile beraber değerlendirilerek performansı daha yüksek elektronik sensör yapımına katkı sağlamak amaçlamıştır.

Bu tez çalışmasının ilk kısmında ince film teknolojisi, tarihsel gelişimi ve bu tez çalışmasının içeriğinden bahsedilmiştir. İkinci kısmında ince filmin tanımı ve ince film üretim teknikleri incelenmiştir. Üçüncü kısımda manyetizma ile ilgili kuramsal bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde materyal ve metotlar kısmında  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  nanometrik ince film için magnetorezistans özelliklerini belirlemede Van der Pauw (VDP) ölçüm tekniği kullanılarak Hall olayı metodu ile manyetorezistans, mobilite ve taşıyıcı yoğunluğu incelenmiştir. Sonuç bölümünde ise deneysel sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. İNCE FİLMLER

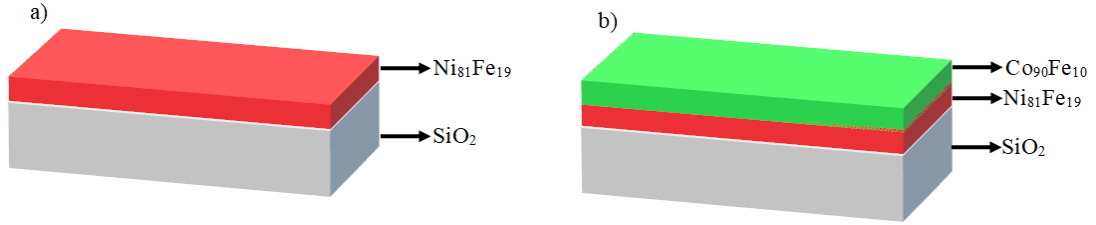
### 2.1. İnce Filmlerin Tanımı ve Yapısı

İnce filmler, farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan ve kalınlıkları genel olarak 1  $\mu\text{m}$ ' nin altında olan malzemelerdir [10]. Çok geniş bir yelpazede kullanım alanına sahip olan ince filmlerden elde edilen performans oldukça önemli bir parametredir. Bunun nedeni elde edilen performansı üretim teknikleriyle doğrudan ilişkili olmasıdır [11]. Bilimsel ve endüstriyel çalışmalar için önemli bir yere sahip olan ince filmler, ilk olarak, cam ve seramikler üzerinde dekorasyon olarak kullanılmıştır. Daha sonra, gümüş tuzları kullanılarak, cam yüzeyler üzerinde gümüş filmleri elde edilmiştir. 19.yüzyıldan itibaren bilimsel çalışmalardaki artış, daha yeni ve daha modern ince film elde etme yöntemlerini de beraberinde getirmiştir. İlk ince film, 1838' de "elektroliz" yöntemi ile elde edilmiş olup, daha sonra 1852' de Bunsen "kimyasal reaksiyon" yöntemiyle, Faraday "asal gaz içerisinde buharlaştırma" yöntemiyle, Nahrwold ve Kundt "Joule ısıtması" yöntemiyle yine ince film elde etmişlerdir [12].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ince filmlerin üretilmesinde birbirine alternatif olabilecek yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir. Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini oluşturan ince film teknolojisi, insanlığın kullandığı kişisel bilgisayar ve donanımlardan, haberleşme sistemlerine kadar çoğu elektronik aracın içinde bulunmaktadır. Farklı amaçlara hizmet eden ince filmler çeşitli özellikleri dikkate alınarak farklı teknolojik uygulamalarda kullanılırlar. Günlük yaşantımızda hemen her alanda kullandığımız aygıtlar içerisinde ince filmler çok önemli bir yere sahiptir. Elektriksel özellikleri sayesinde yarıiletken/süper iletken cihazlarda, yalıtım ve iletim kaplamalarında, devre elemanı yapımında, optiksel özelliklerinden dolayı yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda, girişim filtrelerinde, optiksel disklerde, manyetik özelliklerinden dolayı hafıza disklerinde, kimyasal özelliklerinden dolayı oksidasyona veya korozyona karşı korumada, sensörlerde ve bunlar gibi daha birçok uygulamada ince filmler



kullanılmaktadır [13,14]. Aşağıda Şekil 2.1' de a) Tek katmanlı b) Çok katmanlı ince filmlerin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 2. 1. a) Tek katmanlı b) Çok katmanlı ince filmlerin şematik gösterimi.

İnce film yapısına sahip malzemelerde olup normal hacimli malzemelerde olmayan özellikler şunlardır.

- Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek ölçüde temizdir.
- Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek seviyede küçük geometrilerin üç boyutta oluşması mümkündür.
- Atomik büyüme işleminden kaynaklanan filme özgü malzeme özellikleri görülebilir.
- Kalınlık, kristal yönelmesi ve çok katlı yapılardan kaynaklı kuantum boyut etkileri ve diğer boyut etkilerini görmek mümkündür [15].

## 2.2. İnce Filmlerin Kullanım Alanları

- İnce filmler, elektronik ve optoelektronik endüstrisinin ana unsurlarındandır. Başlıca kullanım alanları
  - RC şebekeleri ve mikrodalga devreleri için kaplamalar
  - Yarıiletken uygulamaları için tek ve çok katmanlı metalizasyon
  - Entegre devre metalizasyonu
  - Hibrit devre üretimi
  - Fotovoltait piller
  - Manyetik kayıt ve algılama sistemleri
  - Mikro elektromekanik sistemler
- Bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar günlük hayatımızda sıkça kullandığımız cihazların yapımında ince filmler önemli bir yere sahiptirler.

- İnce filmler, medikal, askeri ve daha birçok amaç için kullanılan sensörlerin de temelidir.
- Optik kaplama amacıyla yapılan ince filmlerin aşağıdaki uygulamalarda kullanım alanları bulunmaktadır:
  - Yüksek yansıtıcı filmler
  - Yansıtmayan filmler
  - Koruyucu filmler
  - Saydam iletken filmler
  - Lazer aynaları
  - Girişim filtreleri
  - Polarizörler
  - Demet bölücüler
  - Optik disk bellekler
- Koruyucu Dekoratif Kaplamalar
- İnce filmlerin dekoratif, kuyumculuk ve sert yüzey elde etme, sürtünmesiz yüzey elde etme gibi kullanım alanları da bulunmaktadır [59,60].

### **2.3. İnce Film Üretim Teknikleri**

İnce film oluşturmada iki ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemlerdir. Fiziksel yöntemler, termal buharlaştırma yöntemleri, döndürerek kaplama, sıçratarak biriktirme yöntemlerinden meydana gelir. Kimyasal yöntemler, plazma buhar biriktirme yöntemi ve lazer ile buhar biriktirme yöntemlerinden meydana gelir [16].

#### **2.3.1. Fiziksel Buharlaştırma Tekniği (PVD)**

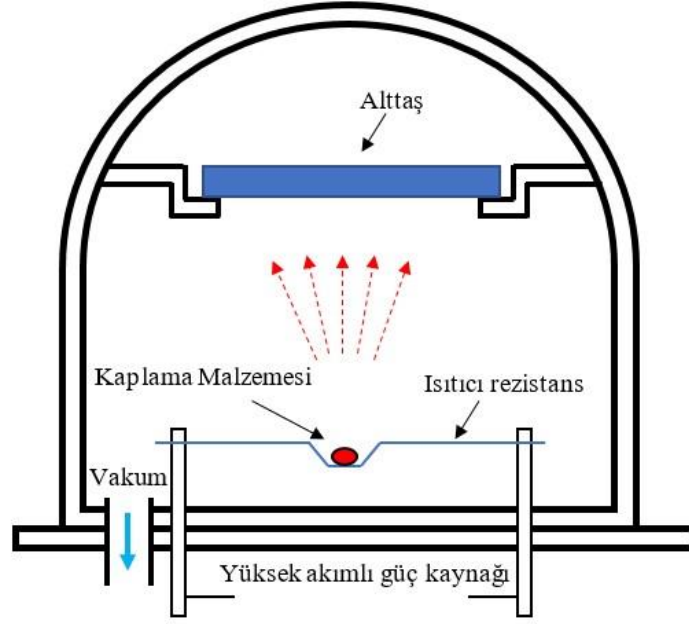
Her maddenin kendine özgü erime, kaynama, süblimleşme ve buharlaşma sıcaklıkları vardır ve bu sıcaklık değerleri maddenin ayırt edici özelliğidir. Bu teknik, vakum altında bulundurulmuş malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçratarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplama yapılacak yüzeye atomsal veya iyonsal olarak biriktirilmesi esasına dayanır [17]. Fiziksel buharlaştırma yöntemlerinin hepsinde ince film şeklinde kaplama yapılacak numune kaynama, buharlaşma ya da süblimleşme sıcaklığına kadar ısıtılır; daha sonra buharlaştırılan malzeme daha soğuk sıcaklık

bölgesinde olan alt taşlar üzerine taşınarak biriktirilir. Malzemeyi buhar fazına geçirmek için kullanılan farklı buharlaştırma yöntemleri vardır. Buharlaşma tekniklerinde genellikle yüksek vakum ortamı kullanılmakla birlikte asal bir gaz ortamında da gerçekleştirilebilir. Yüksek vakum, ortamdaki buharlaştırılmış moleküllerinin serbestçe hareket etmesi ve numune alttaşının tüm yüzeyinde homojen olarak kaplanması için gereklidir.

Kaplamalar için tipik işlem malzemeye bağlı olarak sıcaklık 250 ile 450 °C arasındadır. Kaplamalar; tekli, çoklu ve kademeli tabakalar halinde isteğe bağlı olarak yapılabilir. Kaplama kalınlığı nanometrik düzeyden birkaç yüz mikron kalınlık mertebesine kadar olabilir [18].

### **2.3.1.1. Rezistans ile Buharlaştırma (Resistive Evaporation) Tekniği**

Bu yöntemde oksidasyona ve sıcaklığa karşı yüksek dayanımlı refrakter malzemedен yapılmış ergitme potası kullanılır. Pota malzemesi olarak genellikle tungsten, tantal, molibden gibi refrakter malzemeler seçilir. Buharlaştırılacak kaplama malzemesi bu pota içerisine yerleştirilir. Isıtma işlemi potanın etrafına sarılmış rezistans telleri ile yapılır. Bu buharlaştırma sisteminde yüksek akım ve düşük gerilim seviyeleri kullanılır. Bu yöntemden alüminyum, magnezyum, gümüş, bakır, kurşun gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında yararlanır [19]. Rezistans ile buharlaştırma yönteminde iyonlaşma çok az olur bundan dolayı kaplamanın yüzeye bağlanabilirliği düşüktür ve gözenekliliği yüksektir. Elde edilen kaplamalar daha çok optik ve dekoratif amaçlı uygulamalarda kullanılır [20]. Şekil 2.2' de rezistanslı buharlaştırma sistemi şematik gösterimi verilmiştir.

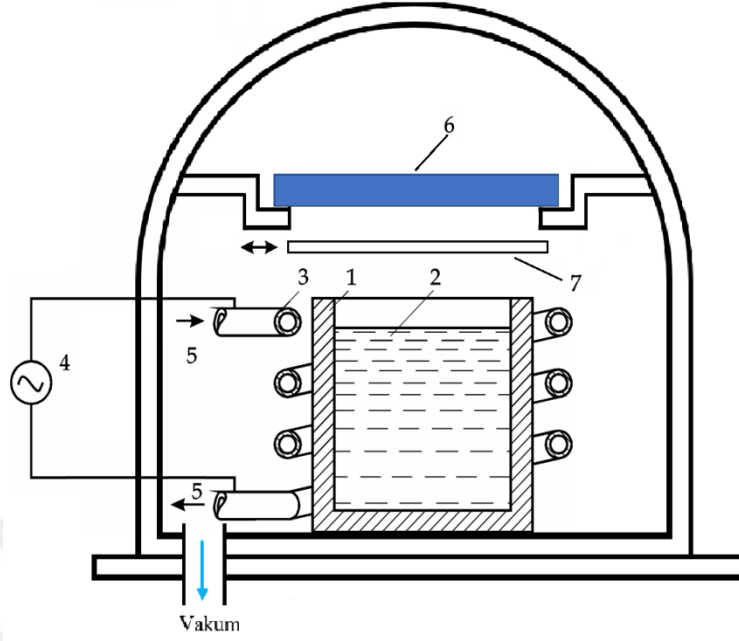


Şekil 2. 2. Rezistanslı buhar biriktirme sistemi [16].

### 2.3.1.2. İndüksiyon ile Buharlaştırma Yöntemi

Bu buharlaştırma yönteminde ısıtma işlemi pota etrafına sarılmış olan su soğutmalı bakır tellere indüksiyon akım (RF akımı) uygulanması ile sağlanır. Ergime sıcaklığı 2100 °C kadar olan tüm malzemelere uygulanabilir [19].

AC güç kaynağından bakır bobine orta frekansta (MF:  $f=1-66\text{KHz}$ ) ya da radyo frekansında (RF:  $f=0,44 - 1,76 \text{ MHz}$ ) indüksiyon akımı uygulanır. Uygulanan bu indüksiyon akımı bobinde değişken bir manyetik alan meydana getirir. Bu değişken manyetik alan pota üzerinde (pota iletken bir materyalden yapılmış ise) aynı zamanda pota içerisindeki buharlaştırılacak numune üzerinde (numune iletken ise) Faucault akım olarak da bilinen Eddy akımlarını dolaştırır. Bu Eddy akımı buharlaşacak numunenin ısınması sağlar ve numune arzu edilen sıcaklığa kadar ısıtılır. Buharlaşma işlemi yüksek vakum altında gerçekleştiğinden buharlaşan tanecikler düz çizgi halinde alttaşa doğru yönelir. Kural olarak, buhar akış yoğunluğunun açısal dağılımı tek biçimli değildir bu da hareketsiz alttaş üzerinde homojen olmayan bir kaplama kalınlığı dağılımına yol açar. Homojen bir kaplama kalınlığı elde etmek için çeşitli mekanizmalar ile pota ya da alttaş hareket ettirilir. Kaplama kalitesini iyileştirmek için çoğunlukla alttaş 200-600 °C arasında sıcaklıkta ısıtılır [21]. Şekil 2.3 de endüktif buharlaştırma sistemi ve kısımları gösterilmiştir.



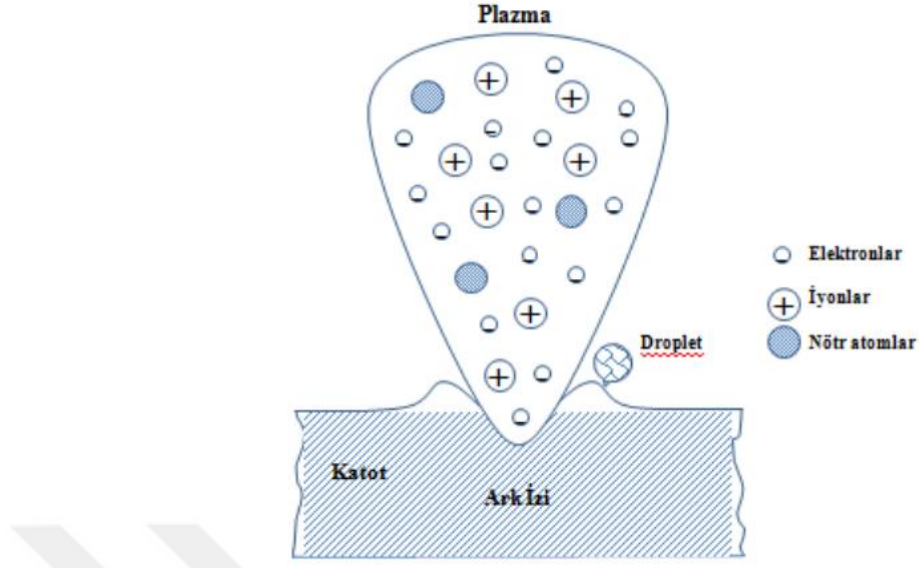
**Şekil 2. 3.** Endüktif buharlaştırma sistemi [21].

1 pota, 2 buharlaştırılacak numune, 3 indüksiyon bobini (içinden soğutma suyu dolaştırılabilen bakır boru), 4 alternatif akım kaynağı, 5 bakır tüp borunun içine su akışının gösterimi, 6 alttaş, 7 alttaş üzerine doğru olan buhar akışını kontrol için açılıp kapanabilen hareketli kapak [21] kısımlarını ifade etmektedir.

### 2.3.1.3. Ark Yöntemi ile Buharlaştırma

Kaplama elde etmek amacıyla vakum arkın kullanılması ilk olarak, ark plazma kaplamalar konusunda 1892 yılında patent sahibi olan Thomas Edison tarafından öne sürülmüştür [22].

Bu fiziksel buharlaştırma tekniğinde kaplama yapılacak malzemenin buharlaştırılması ve iyonize edilmesi için ark kullanılır. Katotik ark buharlaştırma işleminde vakum odasına, buharlaştırılacak hedef malzeme katot olarak, kaplanacak olan altlık malzemesi anot olarak konulur. İşlemden uygulanan düşük voltaj (10-40V) ve yüksek akım (30-300A) katot üzerinde ark meydana getirir. Katot yüzeyinde arkın meydana geldiği ark izi ya da katot izi olarak adlandırılan noktalarda, sıcaklığın çok yüksek değerlere (yaklaşık 2500 °C) ulaşması, bu noktalarda ergime ve buharlaşmalara neden olur [20,22,23]. Şekil 2.4 te ark izi ve plazma oluşumunun şematik gösterimi verilmiştir.



**Şekil 2. 4.** Ark izi plazma oluşumunun şematik gösterimi [23].

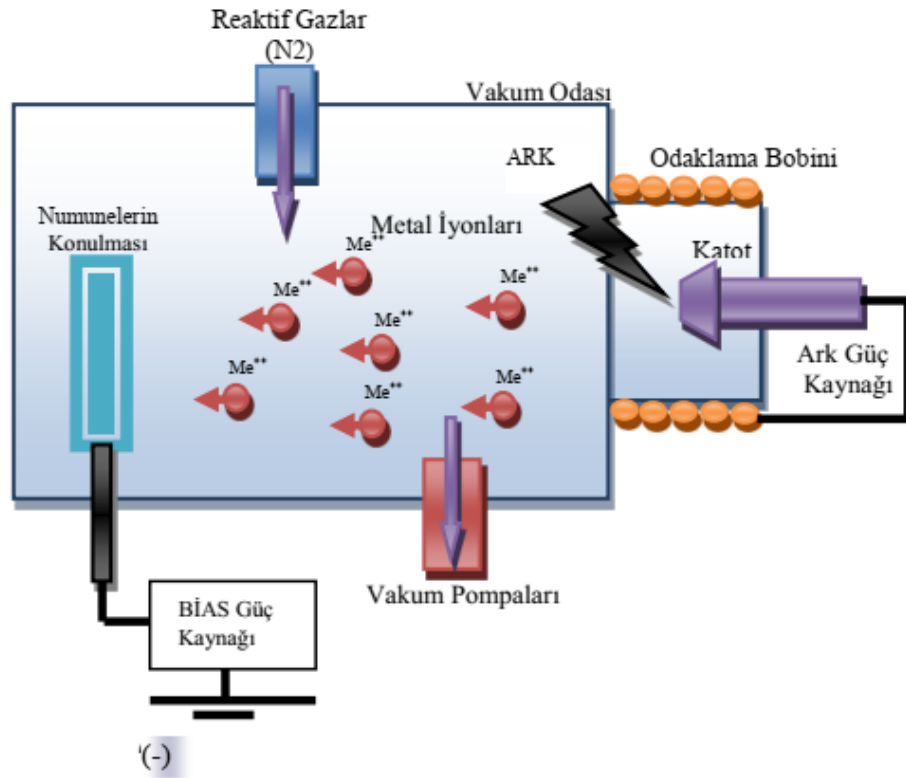
Arkın, katot üzerindeki ark izinin oluşumundan 5-40 ns sonra başka bir bölgede ark izi oluşturması, katot yüzeyinin homojen bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır. Oluşan buhar fazı, katodun önündeki yüksek elektron yoğunluğuna sahip plazmada iyonize olur ve alttaşın üzerine hızla taşınır [24].

Bu sistemde plazma içinde hareket eden iyonların kinetik enerjileri 40-100 eV arasındadır. Bunun sonucunda diğer tekniklere oranla daha yüksek biriktirme hızlarına ulaşılmaktadır [25].

Katodik ark ile fiziksel buhar biriktirme yöntemi, iyonizasyon miktarının yüksek olması, istenilen bileşimde kaplama yapılabilmesi, kaplama biriktirme hızının yüksek olması ve düşük alt malzeme sıcaklıklarında dahi iyi yapışma sağlaması gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise biriktirme sırasında damla (droplet) oluşumu söz konusu olabilmesidir [26].

Ark buharlaştırma esnasında arkın numuneyi ani ısıtması ile katottan elektronlar, metal iyonları ve nötr buhar atomlarının yanında 0,1-20 µm boyutlarında sıvı halde metal damlacıkları (dropletler) da saçılarak plazmaya karışmaktadır. Dropletler kaplama sırasında perdeleme etkisi yaptığından altlarında kaplanmamış alanların kalmasına sebep olurlar ve bu durumda kaplama kalitesini birçok açıdan olumsuz etkiler [27]. Droplet oluşumunu engellemek için kullanılan yöntemlerden en önemlisi, katotların

arkasına yerleştirilen mıknatıslar yardımıyla plazmanın filtre edilmesidir. Mıknatısların oluşturduğu manyetik alan, elektronların daha küçük bir alanda yoğunlaşmasını sağlar. İyonlar bu manyetik alandan etkilenmezler. Dropletler ise çok az yüklüdür, fakat kütle/yük oranlarının elektronlarınki ve iyonlarınki ile karşılaştırıldığında oldukça büyük olması nedeni ile düz bir yörüngede hareket ederler ve manyetik alandan etkilenmezler bu şekilde dropletler plazmadan uzaklaştırılmış olur [22]. Şekil 2.5’ te katotik ark buharlaştırma sistemi görülmektedir.



Şekil 2. 5. Katotik ark buharlaştırma sistemi [17].

Katotik ark buhar biriktirme sistemleri sürekli (DC) ve darbeli (pulsed) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [28].

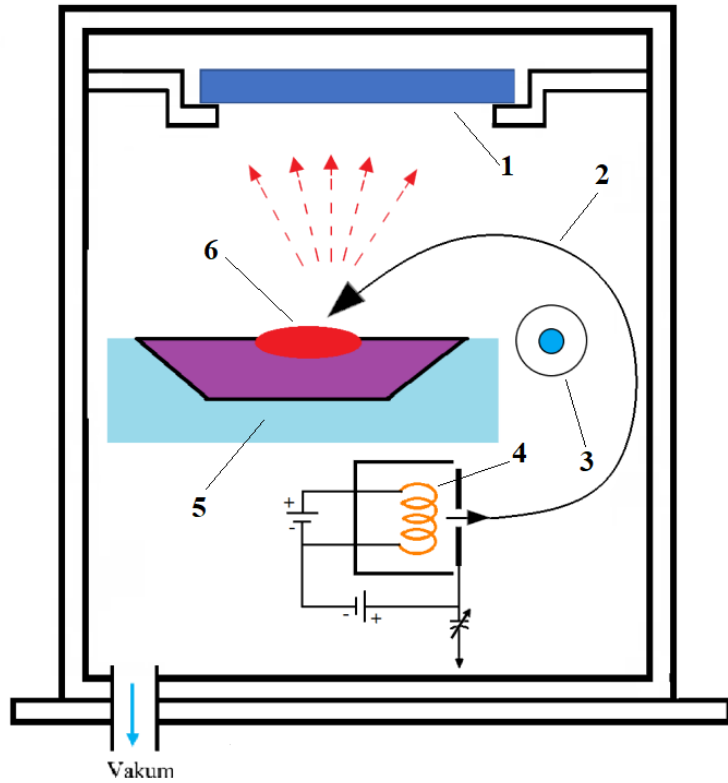
#### 2.3.1.4. Elektron Demeti ile Buharlaştırma

Elektron demeti buharlaştırma, vakumlu bir ortamda yüksek enerjili elektron demetinin buharlaştırılacak numuneye odaklanması ile olur [29]. Bu yöntemde bir elektron kaynağı vasıtası ile sağlanan yüksek enerjili elektronların hedef malzemeye yönlendirilmesi ile ortaya çıkan enerjinin malzemeyi buharlaştırması ilkesine dayanır.

Bu yöntem çok yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin (4000 °C ye kadar) buharlaştırılmasına imkân sağlar. Elektronlar, elektron tabancası ya da oyuk katot kullanılarak üretilmektedir. Elektron tabancası yönteminde bir filaman tel üzerinden akım geçirilir. Üzerinden akım geçen tel ısınır ve elektron yaymaya başlar. Ortaya çıkan elektronlar bir manyetik alan yardımı ile hızlandırılır. Bu manyetik alanı oluşturmak için 5-10kV gerilim kullanılır. Diğer yöntem olan oyuk katot kullanımı ile elektron üretiminde ise oyuk bir silindir içerisine soy gazların kullanılması ile oluşturulan plazma sayesinde gerçekleştirilir [19].

Elektron demeti buharlaştırma sistemi dört ana kısımdan meydana gelir bunlar; elektron demeti tabancası, buharlaşacak malzemenin içine konduğu su soğutmalı bakır pota, kaplanacak olan alttaş ve vakum odasıdır. Elektron demeti, elektron tabancası tarafından buharlaştırılacak yüzeye doğrusal uygulanabileceği gibi 180° ya da 270° derece açılarda da uygulanabilir [29].

Şekil 2.6' da elektron demeti buharlaştırma sistemi ve parçaları görülmektedir.

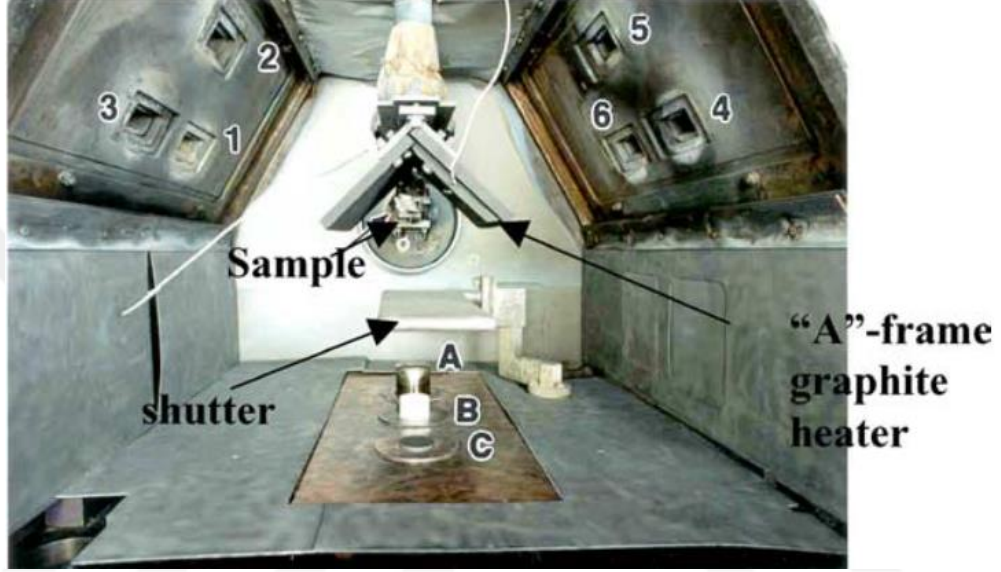


Şekil 2. 6 Elektron demeti buharlaştırma sistemi [16,29-31]



1 kaplanacak alttaş, 2 elektron demeti, 3 manyetik alan, 4 termoiyonik filament, 5 su soğutmalı pota, 6 buharlaştırılacak malzemeyi ifade etmektedir.

Şekil 2.7 de Penn State University EB-PVD laboratory de kullanılan bir elektron demeti buharlaştırıcının şekli görülmektedir.



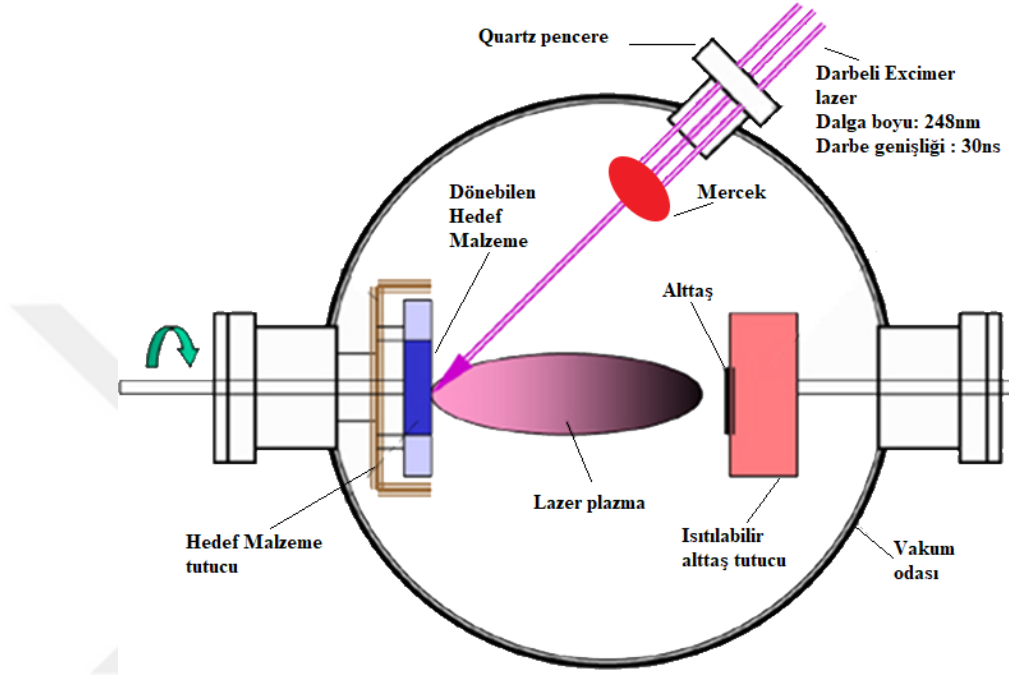
**Şekil 2. 7** Penn State University EB-PVD laboratory de kullanılan bir elektron demeti buharlaştırıcı

1-6 elektron demeti tabancaları, A-C buharlaştırılacak materyal (külçe halinde), A şeklinde grafit ısıtıcı, shutter biriktirme kapağı, sample grafit ısıtıcı ile toplama kapağı arasında dönebilen kaplanmış malzemeyi göstermektedir.

### **2.3.1.5. Darbeli Lazer ile Buharlaştırma Tekniği**

Yeni bir fiziksel buharlaştırma yöntemi olan darbeli lazer buhar biriktirme yöntemi aslında oksit süper iletken ince film üretmek için geliştirildi. Son zamanlarda ise çok çeşitli; yarı iletken, ferroelektrik ve şeffaf elektrot ince film üretiminde kullanılmaktadır. Uygulanan lazer ışınının akış yoğunluğunu ve tekrarlanma oranını ayarlayarak, pürüzsüz, son derece iletken, şeffaf ince filmler elde edilebilir [32]. Lazer ile buharlaştırma yönteminde kaplanacak hedef malzeme vakum odasında lazer kaynağı kullanılarak buharlaştırılır ve alttaş üzerinde biriktirilir. Buharlaştırılacak malzemenin ışınım absorpsiyon karakteristiği, kullanılacak lazerin dalga boyunu belirlemektedir. Bu yöntem ile lazer ışınım soğurabilen yüksek ergime sıcaklığına

sahip metaller buharlaştırılabilmektedir [32,33]. Pürüzsüz ve kesintisiz ince film elde etmek için buharlaştırılacak malzemenin ve alttaşın döndürülmesi önemlidir [32]. Aşağıdaki şekilde Darbeli Lazer biriktirme sistemi diyagramı görülmektedir.



Şekil 2. 8 Darbeli Lazer biriktirme sistemi diyagramı [32]

### 2.3.2. Sıçratarak (Sputtering) Biriktirme Tekniği

Sıçratma ile kaplama ilk kez 1852 yılında W.R. Grove tarafından doğru akım gaz deşarj tüpünde gözlemlenmiştir. O zamanlar sıçratma katodun yapısında bozulmaya sebep olduğu için istenilmeyen bir durumdur. Günümüzde sıçratma yaygın bir şekilde yüzey temizlemede, yüzey aşındırmada, ince film ile biriktirmede ve yüzey analizinde kullanılmaktadır [34].

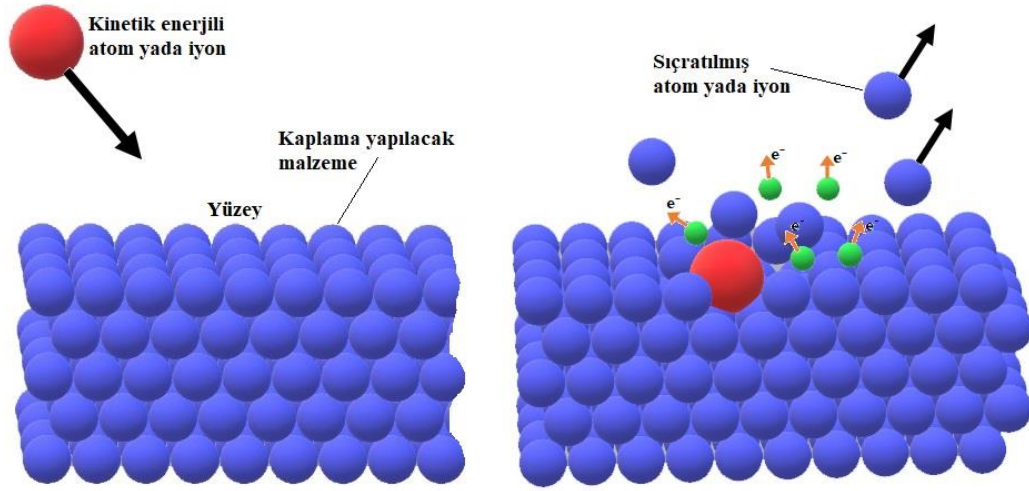
Sıçratma yöntemi, hedef malzeme yüzeyinin, genellikle plazma veya iyon tabancası vasıtası ile hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonları ile bombardıman edilerek, atomun yüzeyden çıkarılması ve buhar fazına geçerek alttaş üzerine biriktirilmesi esasına dayanır [35]. Sıçratma yöntemi ısı kullanmadan, soygaz iyonlarının hedef malzeme yüzeyine çarptırılması ve bu iyonlardaki momentumun

hedef malzeme atomlarına transferi ile buharlaşmanın gerçekleştiği bir yöntemdir [20,36].

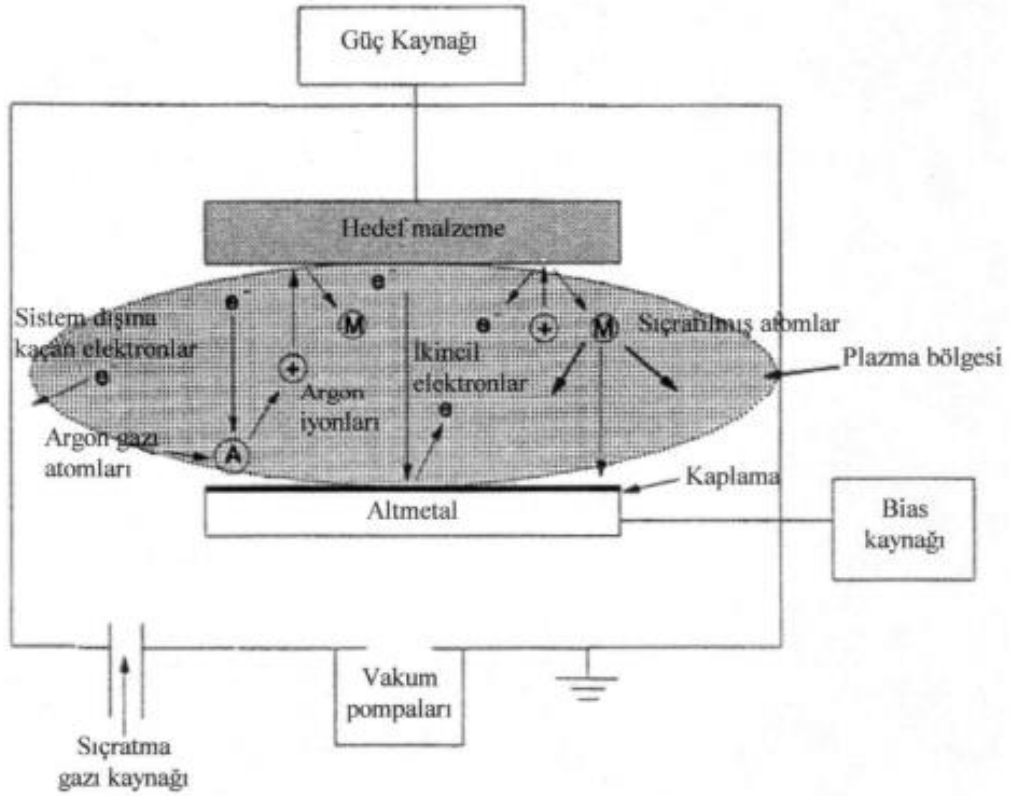
Bu yöntemin temel prensibi, yüzey atomlarına iyonlar aracılığı ile momentum transfer edip onları yerlerinden sökmektir. Bu yöntem diğer buharlaştırma yöntemlerine göre daha düşük sıcaklık ve daha yüksek vakum gereksinimi olan bir yöntemdir [37].

Sıçratma yönteminde Argon (Ar), Helyum (He) gibi soygazlar kullanılır. En yaygın kullanılan gaz Argon gazıdır çünkü argon gazının atom çapı Helyum gazının atom çapından daha büyüktür ve bu şekilde daha fazla momentum oluşacağından kaplanacak malzeme yüzeyinden daha fazla atom sıçratabilir. Ayrıca argon gazı hiçbir şekilde kullanılan malzemeler ile tepkimeye girmez [34]. Sıçratma yönteminde sıçratılan atom miktarı, argon gazının enerjisine, gazın yüzeye çarpma açısına bağlı olarak değişir [38].

Aşağıdaki Şekil 2.9' da sıçrama yöntemi ve Şekil 2.10' da sıçratma ile kaplama mekanizması görünmektedir.



Şekil 2. 9. Sıçratma Yöntemi [34].



Şekil 2. 10. Sıçratma ile kaplama mekanizması [39].

Sıçratma yönteminde, kaplama yüzeyini bozan dropletlerin oluşmaması, hedef malzeme ile aynı özellikte kaplamaların elde edilmesi, sisteme sıçratma amacıyla kullanılan soygazlar haricinde reaktif gazlar verilerek bileşik kaplamalar elde edilebilmesi gibi avantajları vardır [35].

Sıçratma tekniğinde birçok malzeme başarılı bir biçimde kaplanabilmesine rağmen, birikme hızının ve plazma içindeki iyonlaşma etkisinin düşük olması ve alttaş sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımına sınır getirmiştir. Son yıllarda sıçratma teknolojisindeki gelişmelerin çoğu manyetik alanda yapılmıştır. Bunun sebebi, manyetik alanda sıçrama yöntemi ile yapılan kaplamaların, mikroelektronik, optik, türbin bıçakları, manyetik ve optik diskler ve kesici bıçaklar gibi birçok endüstriyel alanda uygulanmasıdır [40,26]. Bu yöntemde, kullanılan gaz basınç değerleri değiştirilerek farklı özelliklere sahip filmler üretilebilir [35].

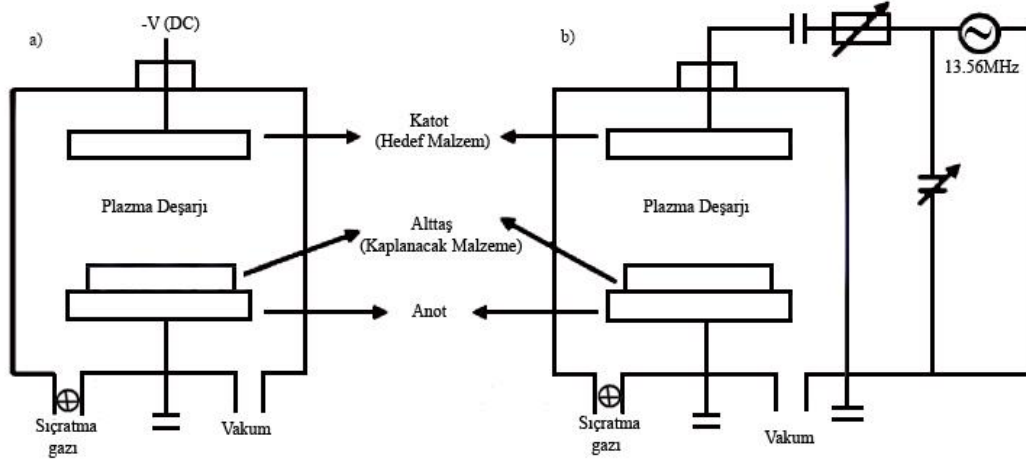
Sıçratarak biriktirme yönteminde; iletken hedef malzemeler için doğru akım (DC), yalıtkan hedef malzemeler için radyo frekansı (RF), farklı şekillerde darbeleri doğru

akım/gerilim uygulayarak hedef malzeme enerjilendirilebilir [41]. Sıçratma yöntemi ile elde edilen fiziksel buharlaştırma kaplamaları diyot, triyot, manyetik alanda sıçratma ve iyon demeti ile sıçratma olarak gruplandırılmaktadır [20].

### **2.3.2.1. Diyot Sıçratma Yöntemi**

Sıçratma yöntemleri arasında en basit olanıdır. Sistem, biri anot diğeri katot olmak üzere iki adet düzlemsel elektrotun karşılıklı yerleştirilmesi ile oluşturulur. Katodun plazmaya temas eden üst yüzeyi kaplama için kullanılacak hedef malzeme ile kaplanmıştır. Katodun altında su soğutmalı hazne bulunur. Kaplanacak olan alttaş anot üzerine yerleştirilir. Sıçratma haznesi vakum altına alındıktan sonra basınç 0,1 Torr olacak şekilde bir soygaz (genellikle Argon gazı) hazneye verilir. Elektrotlara genellikle 1000 V ile 5000 V arasında bir DC gerilim uygulandığında parlama deşarjı (glow discharge) oluşur. Parlama deşarjında bulunan pozitif Ar<sup>+</sup> iyonları katot yüzeyine çarparak kaplama malzemesinin atomlarına momentum aktarırlar böylece yüzeye yakın atomların sıçratılması ve kaplanacak alttaş üzerinde ince bir film oluşturulması sağlanır. Tipik olarak, DC diyot sıçratma deşarjları sıçratma gazı basıncı ve cm<sup>2</sup> başına Watt cinsinden hedef güç tarafından kontrol edilir. Bombardıman enerjisinin çoğu ısıya dönüştüğünden, sıçratma hedefi genellikle soğutulmuş deiyonize akan su ile aktif olarak soğutulmalıdır. Kaplama malzemesi iletken ise parlama deşarjı meydana getirmek için doğru akım uygulanır. Bu yöntemde, kaplama malzemesinin yalıtkan olması durumunda parlama deşarjını oluşturmak için DC voltaj yerine radyo frekansı (RF, f=13,56 MHz) voltaj kullanılmaktadır [16, 32, 35].

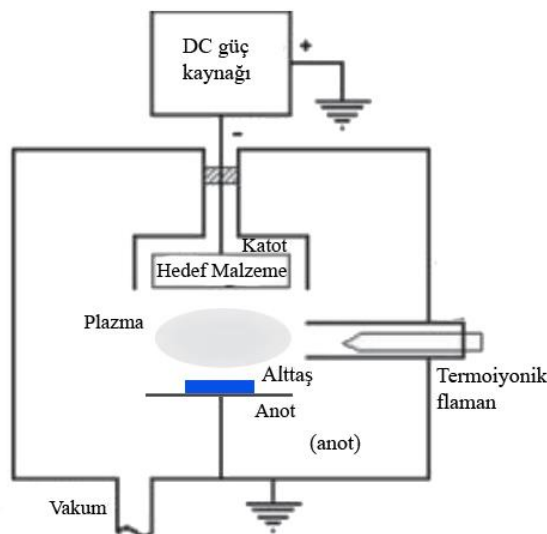
Diyot sıçratma yöntemi kolaylığı sebebiyle yaygın olarak kullanılmasına rağmen ikincil elektronların kullanılmaması, düşük biriktirme hızı, alt malzemenin fazla ısınması ve oldukça sınırlı bir biriktirme alanının olması gibi dezavantajları vardır [40]. Aşağıda Şekil 2.11' de DC ve RF sıçratma yönteminin şematik diyagramları verilmiştir.



Şekil 2. 11. Diyot sıçratma sistemi şematik diyagramı a) DC b)RF [16,42].

### 2.3.2.2. Triyot Sıçratma Yöntemi

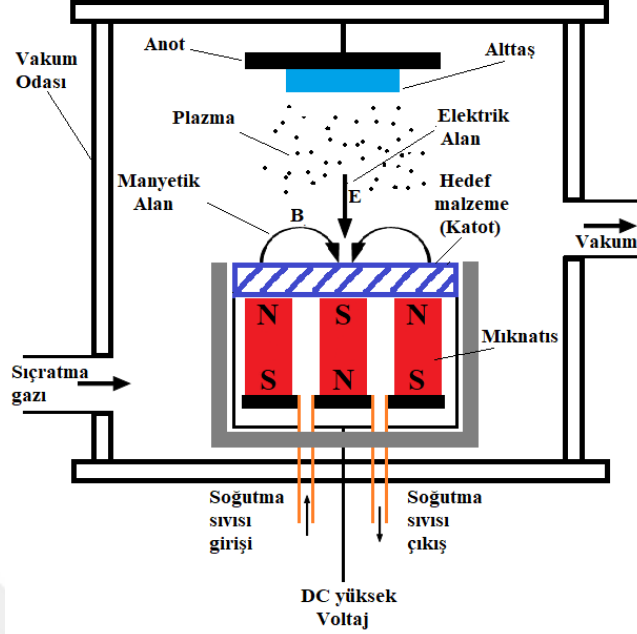
DC diyot sıçratma işleminde plazmanın iyonlaşmasını arttırmak için ısıtılmış bir flaman, doğrudan plazmaya hedeften bağımsız olarak elektron yayar. Elektron yoğunluğundaki bu artış iyon enerjisi ve akşın daha fazla kontrol edilmesini sağlar. Böylece daha düşük gerilim (yaklaşık 500 V) ve daha düşük basınçlarda (0,5 ile 1 mTorr) değerlerinde daha yüksek biriktirme oranı elde edilir [32, 43, 44]. Bu yöntemin temel problemi reaktif gaz varlığından dolayı flamanların ömrünün kısalmasıdır [45,46]. Şekil 2.11' de triyot sıçratma yöntemi şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. 12. Triyot sıçratma yöntemi şematik diyagramı [32, 43, 44].

### 2.3.2.3. Manyetik alanda sıçratma yöntemi

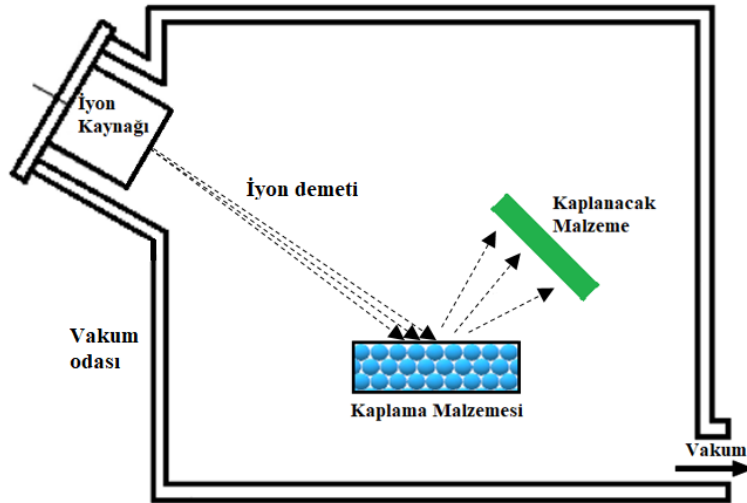
Magnetron sıçratma yöntemlerinde genellikle, katodun altına yerleştirilen kalıcı mıknatıslar ile oluşturulan bir manyetik alan kullanılır (yaklaşık 200 gauss). Böylece elektron hareketi yüzeye yakın alanda sınırlanır. Hedef yüzeyden çıkan elektron elektrik alan sayesinde yüzeyden uzağa doğru hızlanır fakat manyetik alan çizgilerinde dairesel spiral hareket yapmaya zorlanır [35]. Bu yöntemde hedef malzeme su soğutmalı mıknatıs ya da elektromıknatıstan meydana gelen tutucu üzerine yerleştirilmiştir. Mıknatısın bir kutbu kaplama malzemesinin merkez eksenine, ikinci kutbu kaplama malzemesinin kenarlarına yerleştirilmiştir böylece halka şeklinde bir manyetik alan meydana gelir. Bu şekilde yerleştirilen mıknatıslar, elektrik ve manyetik alanın kaplama malzemesi üzerinde birbirine dik olmasını sağlamaktadır. Plazmadaki elektronlar hem elektrik alana (E) hem de manyetik alana (B) dik yönde hareket ederler. ExB hareket yolu hedef yüzeyine paraleldir ve kapalı bir halka oluşturur. Böylece iyon bombardımanı ile katot yüzeyinden yayılan ikincil elektronlar, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına sebep olur [36]. İyonizasyon etkisinin artması daha düşük basınçlarda (10 mTorr) ve daha düşük sıçratma gerilimlerinde (<1000 V) sıçratma işlemini mümkün kılmıştır. Ayrıca sıçratma işleminin düşük basınçlarda gerçekleşmesi sıçratılan atom ya da iyonların kolayca hareket etmesini ve gaz fazındaki saçılımın az olmasını sağlar bu durumda alttaş üzerine ulaşan tanecik sayısı artar böylece birikme hızı nispeten artmış olur [16, 35]. Şekil 2.13 de magnetron sıçratma mekanizması görülmektedir.



Şekil 2. 13. Magnetron sıçratma mekanizması [16,46].

#### 2.3.2.4. İyon Demeti ile Sıçratma

Bu yöntem için yüksek basınç gereklidir. Hedef malzemenin dolaylı olarak bir bağımlı iyon kaynağı tarafından bombardımana tutulması ile sıçratılması esasına dayanır. Şekil 2.14' te iyon demeti ile sıçratma yöntemi şematik olarak verilmiştir. En çok kullanılan iyon kaynakları "Kaufman kaynağı" ve "Duoplasma" dır. Ark deşarjı sağlanarak iyonların oluşturulduğu Duplasma en eski iyon kaynağıdır. Sıcak filaman katoda sahip Kaufman iyon kaynağında plazma oluşturularak iyonlar meydana getirilmektedir [16].



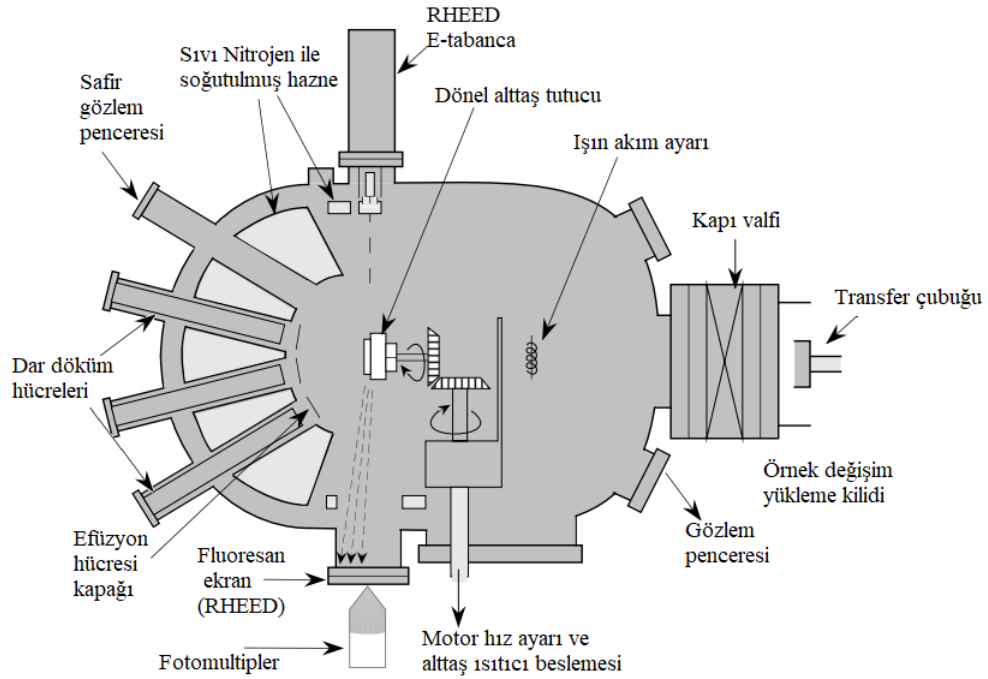
Şekil 2. 14. İyon demeti sıçratma yöntemi şematik gösterimi [16].



Bu yöntem ile düşük sıcaklıklarda iyi yapışma elde edilir. Bu yöntemin dezavantajları yüksek gaz basıncına ihtiyaç duyulması, iyon demeti çapının ( yaklaşık 1 cm) küçük olması ve bu sebeple biriktirme hızının düşük olmasıdır. Bununla birlikte büyük yüzey alanına sahip malzemeler üzerine aynı kalınlıkta film oluşturulamamaktadır [47].

### **2.3.3. Moleküler Işın Epitaksisi (MBE)**

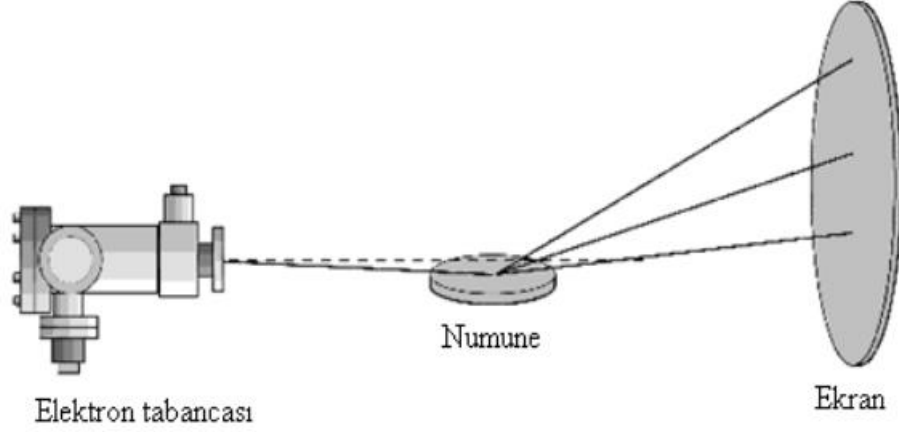
Epitaksi, tek kristal bir alttaş üzerine özdeş kristal yapıya sahip başka bir katmanın çok ince bir şekilde büyütülerek kristal yapı oluşturulmasıdır. Moleküler ışın epitaksisi yöntemi bir yüksek vakum tekniğidir ( yaklaşık 10-11 Torr). Moleküler ışın epitaksisi yöntemiyle yarı iletken filmlerin büyütülmesi ultra yüksek vakum altında uygun sıcaklıktaki kristal alttaş yüzeyi ile hedef malzemeye ait elementlerin moleküler demetleri arasındaki reaksiyon ile oluşur [48]. Bu yöntemde büyütme odası içerisinde üzerinde kaplama maddelerini bulduran potaların olduğu hücreler alttaş yüzeyine doğru hedeflenmiştir. Moleküler demet akısı potaların içinde bulunduğu hücrelerin sıcaklığının kontrolü ile sağlanır. Potalar ısıtılarak içlerindeki atom ya da moleküller buharlaştırılır ve doğrusal bir yolda birbirleri ile herhangi bir reaksiyona girmeden ve birbirlerine çarpmadan ısıtılmış alttaşla çarpırlar. Moleküler ışın Epitaksisi yöntemi çok düşük büyütme oranına sahiptir öyle ki bu değer yaklaşık 1,0 tek katman/saniye kadardır. Biriktirme odasında hücrelerin önünde moleküler demetlerin çıkmasına izin vermek ya da engel olmak için kullanılan dışardan kontrol edilen kesici kapaklar vardır. Bu kesici kapaklar saniyenin onda biri kadar bir sürede açılıp kapanabilir. Büyütme hızının çok düşük olması ve kesici kapaklar ile molekül demetlerinin akışının kontrol edilmesi sayesinde tek katmanlı kristal kompozisyonları oluşturulabilir. Bu büyütme tekniği yönelimlerin çok kesin kontrolüne izin verir. Bu yöntemle büyütmede (yaklaşık 3 Å) tek katman kontrolü sağlanabilir. Bu sistemde büyütme yüksek vakumda yapıldığı için sızıntılar önemli bir problemdir. Büyütme odası duvarlarındaki atom/moleküllerin büyütme sistemine karışmaması için duvarlar sıvı nitrojen ile soğutulur [49,50]. Aşağıdaki şekil 2.15' te moleküler ışın epitaksisi büyütme sistemi şeması verilmiştir.



**Şekil 2. 15.** Moleküler ışın epitaksi büyütme şeması [50].

Moleküler ışın epitaksinin diğer vakum kaplama yöntemlerinden farkı demet akışının ve büyüme durumunun daha doğru bir derecede kontrol altına alınabilmesidir. Bu yöntemde çok yüksek vakum ortamı olduğundan Yüksek enerjili elektron kırınımı yansıması (RHEED), Auger Elektron stroskopi (AES), Elipsometri veya optik yansıma-kırınım ve lazer interferometrik metotları gibi yüzey teşhis yöntemleri kullanılarak malzeme, büyütme esnasında kontrol altına alınabilir [48]. Moleküler ışın epitaksi ile film büyütme yönteminde RHEED alttaş yüzey yapısının ve üzerinde büyütülen tabakanın yüzey yapısının direk olarak ölçülmesine olanak sağlar. Aşağıda şekil 2.16' da RHEED sistemi verilmiştir. RHEED sistemi elektron tabancası ve fosfor ekrandan meydana gelir. Üç derecelik açıyla kristal yüzeyine elektron gönderildiğinde saçılma oluşur. Yüzeyden kırınıma uğrayarak yansıyan elektronların salınımları fosfor ekran üzerinde izler meydana getirir. Oluşan izler aracılığıyla kristal yapılanma görülür. RHEED saçılma desenlerinin gözlemlenmesi yüzey morfolojisi hakkında niteleyici bilgiler verir. Eğer kristal yüzeyi düzgün ise desenler düz çizgi halinde gözlemlenir. Kristal yapı pürüzlü ise desenler çok net değildir. Amorf bir yüzey mevcut ise saçılma desenleri yerine bir sisli ekran görülür. RHEED sistemi; büyüme oranının kalibrasyonu, oksit tabakanın uzaklaştığının gözlemlenmesi, yüzey

atomlarının düzenli yerleşmelerinin değerlendirilmesi, büyüme kalınlığı ve yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinilmesini sağlar [51].



**Şekil 2.16** Basit bir RHEED sisteminin şematik gösterimi [51]

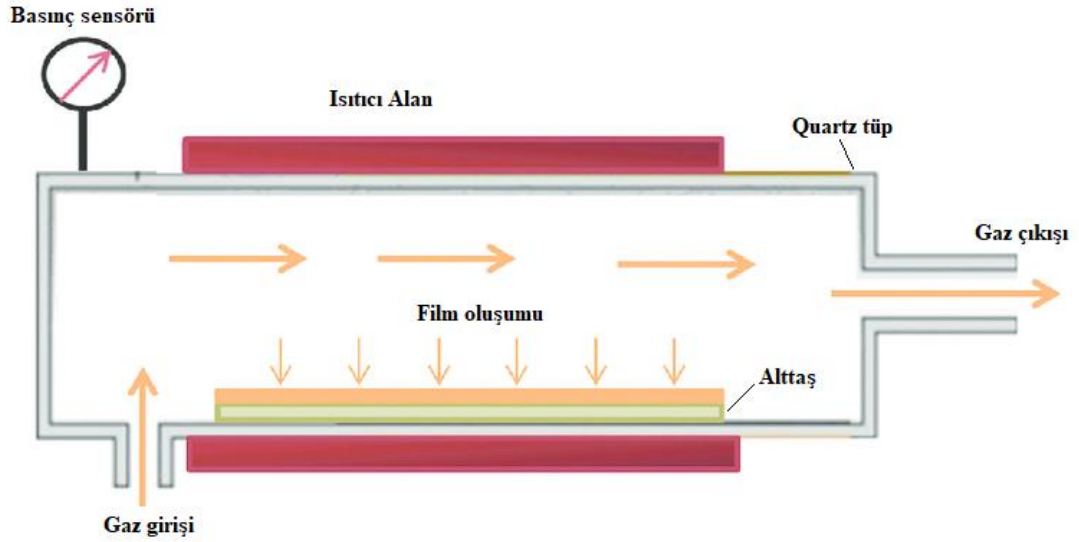
Genel olarak Moleküler ışın epitaksi sistemlerinde 5-40 keV arasında yüksek enerjili elektron demeti düşük bir açı ile ( $1^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) yüzeye gönderilir. Bu elektronların de Broglie dalga boyu  $0,17 - 0,06 \text{ \AA}$  arasındadır ve yüzeye girme miktarı düşüktür. Yani giricilik en dış birkaç atomik katman boyunca sınırlandırılmıştır [51].

#### **2.3.4. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD)**

Kimyasal buhar biriktirme, bir veya daha fazla gaz türünün katı bir yüzeyde tepkimeye girdiği ve tepkime ürünlerinden birinin katı fazlı bir malzeme olduğu bir işlemdir [52]. Basıncı istenilen değerlere göre ayarlanmış kapalı bir ortamda, buhar fazındaki gaz ya da gazların kimyasal yöntem ile katı kaplama malzemesi üretme yöntemidir. Bu yöntemde ısıtılmış alttaş yüzeyi, buhar fazındaki bir taşıyıcı gazın kimyasal reaksiyonu neticesinde katı bir malzeme ile kaplanır. Bu süreç genellikle düşük basınçtaki reaktör içerisinde bir ya da daha fazla gazı içerir. Alttaş üzerindeki kimyasal gazların tepkimesi alttaş yüzeyinde oluşan filme şekil verir [53,54].

İki tip kimyasal buharlaştırma ile biriktirme yönteminden bahsedilebilir. Bunlardan ilki kapalı sistemdir. Sınırlı miktarda bir reaktif gazın sokulduğu kapalı bir sistemdir. Düşük sıcaklıktaki bu gaz ısıtılmış duvar yüzeyi üzerinde yayılır ve duvar tarafından emilir. Belirli bir sürenin sonunda kimyasal reaksiyon bir dengeye ulaşır ve artık katı madde birikmez olur. İkincisi ise açık sistemdir ki bu en yaygın olanıdır. Bu sistemde ince film sıcak alttaş üzerinde oluşur. Oluşan filmin kalınlığı, içeriye reaksiyon gazı

gönderildiği sürece artar [52]. Aşağıda Şekil 2.17’ de kimyasal buhar biriktirme tekniğinin şematik diyagramı verilmiştir.



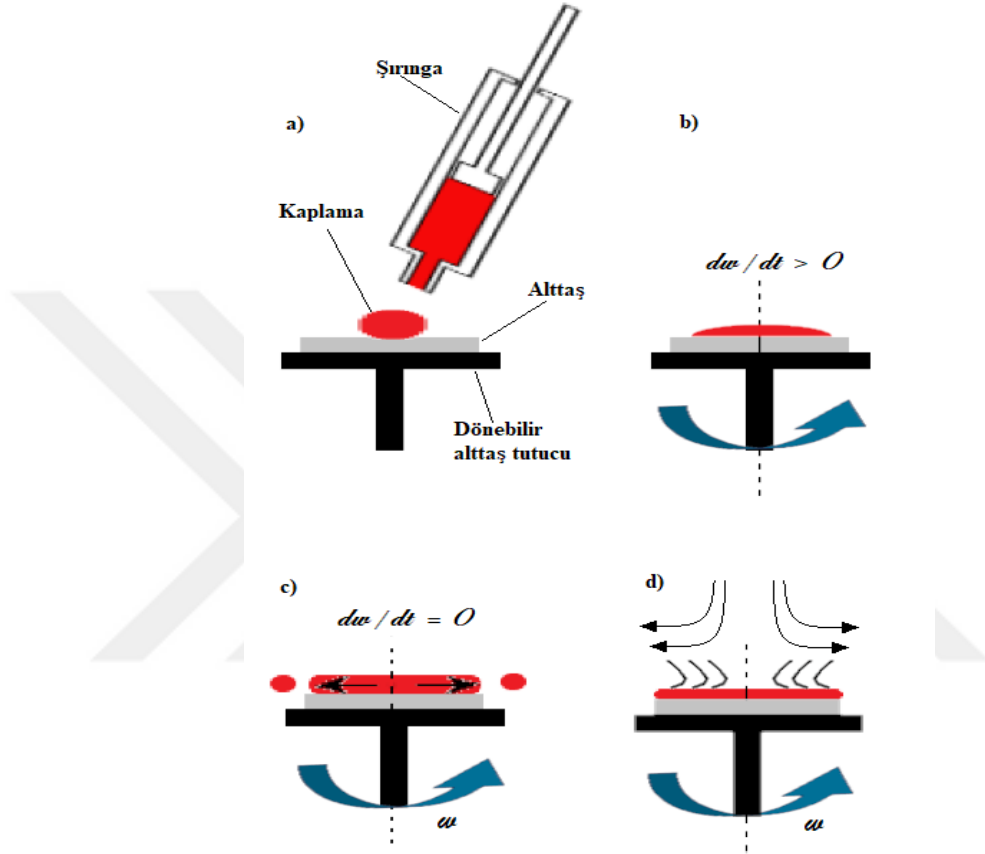
Şekil 2. 17. Kimyasal buhar biriktirme tekniği şematik gösterimi [55].

### 2.3.5. Dönel Kaplama (Spin Coating) Tekniği

Sıvı fazda film büyütme tekniklerinden biri olan sol-jel ince filme kaplama yöntemlerinden, dönel (Spin) kaplama, düz yüzeylere düzgün ince filmler kaplamak için uygulanan bir yöntemdir. Kaplama malzemesi başlangıçta uçucu bir çözücü içerisinde çözülür. Tipik bir işlemde küçük bir damla çözelti alttaşın ortasına damlatılır ve alttaş yüksek hızda dönderilir (bu hız 3000 rpm civarındadır). Merkez kaç kuvveti çözeltinin dönen alttaş üzerinde merkezden dışarıya doğru radyal olarak akmasına neden olur. Bu şekilde oldukça homojen bir tabaka oluşur. Çözelti içerisindeki çözücünün buharlaşması ile ince film elde edilmiş olur [56,57]. Üretilen filmin kalınlığı ve diğer özellikler, çözeltinin yapısına bağlı olacaktır (viskozite, kuruma oranı, katı madde yüzdesi, yüzey gerilimi vb.) ve döndürme işlemi için seçilen parametreler (son dönme hızı, hızlanma ve yavaşlama süresi) uçucu malzemenin buharlaşması gibi faktörler kaplanmış filmin özelliklerini tanımlar [56,58].

Şekil 2.18’ de dönel kaplama yönteminin oluşum aşamaları gösterilmiştir buna göre; kaplama oluşumu dört aşamadan meydana gelmektedir. İlk olarak çözelti alttaş üzerine damlatılır ve yayılır (a). İkinci aşamada alttaş sabit hızla dönderilir çözelti alttaş

üzerinde merkezden dışarıya doğru ince bir film oluşturacak şekilde yayılır ve fazla çözelti alttaştan dışarıya atılır Şekil 2.18.(b). Üçüncü aşamada alttaşın dönmesi durdurulur Şekil 2.18.(c). Dördüncü aşamada yüzeye tutunmayan çözeltinin buharlaşarak kurutulması ile ince film son halini alır Şekil 2.18.(d) [58].



Şekil 2. 18. Dönel kaplama yöntemi oluşum aşamaları [58].

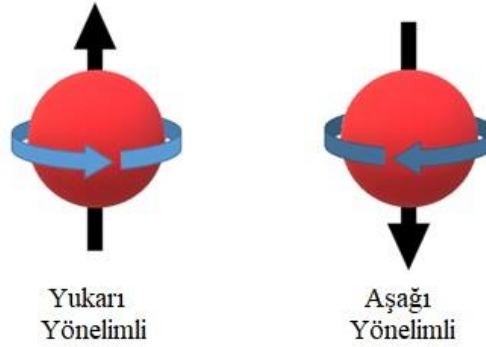
### 3. MANYETİK ÖZELLİKLER

Bu kısımda; manyetizma, manyetik duyunluk, manyetik geçirgenlik, Curie sıcaklığı, Histerisiz eğrisi, taşıyıcı yoğunluğu, mobilite, Hall olayı, manyetostriksiyon ve magnetorezistans konuları incelenecektir.

### 3.1. Manyetizma

Manyetizma olgusu yüzyıllardan beri bilinen bir gerçektir. Doğada ilk bilinen manyetik malzeme magnetitdir. Eğer iki cisim birbirini iter ya da çekerse (birbirlerine göre dönme şekillerine bağlı olarak) bu cisimler mıknatıs olarak isimlendirilir. Mıknatıs tarafından çekilen fakat itilmeyen ve birbirini itip çekmeyen türdeki objelere manyetik malzemeler denir [61].

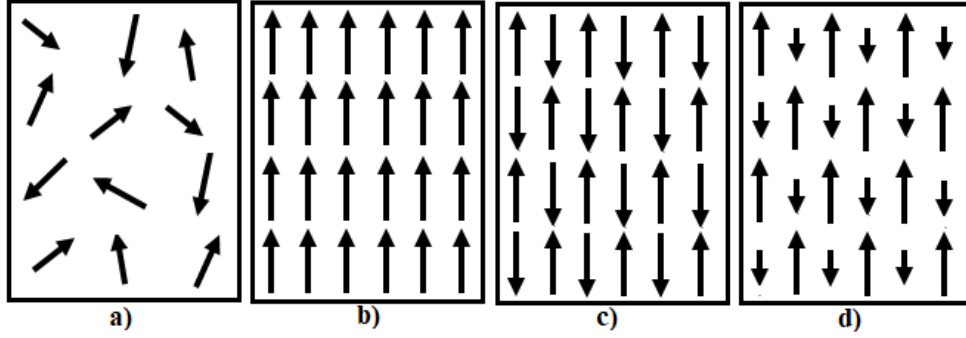
Kuantum atom modeline göre, her elektronun kendi etrafında dönmelerinden dolayı oluşan manyetik momenti vardır ve bu spin olarak ifade edilir. Spin manyetik moment sabit bir değere sahiptir. Kuantum mekanik kanunlarına göre bir elektron iki yönelimden ancak birine sahiptir; ya kendi manyetik alanı (yükü parçacığın dönmelerinden kaynaklanan) bir dış alanla aynı yöne yönelir ve buna “yukarı” yönelimli denilir, ya da elektronun dış alanla ters yöneldiği “aşağı” yönelimlidir.[62-64]



Şekil 3. 1. Elektron spin yönelimi.

Manyetik bir malzemede; her bir kapalı kabukta yani alabileceği maksimum elektron sayısı ile dolu kabuklarda elektronlar çiftler halindedir ve net manyetik moment sıfırdır. Eşleşmemiş elektronların bulunduğu kabukta elektronların spin momentleri birbirine paralel olmasından dolayı net bir manyetik moment meydana gelir. Elektronların spin ve yörüngesel hareketlerinden meydana gelen manyetik momentler

atomik düzeyde manyetizasyonu oluşturur. Manyetik moment dizilişlerine göre malzemelerin sınıflandırması aşağıda verilmiştir [61].



**Şekil 3. 2.** Manyetik moment dizilişlerinin şematik gösterimi [61].

(a) Tüm sıcaklıklarda paramanyetik malzemeler, (b) ferromanyetik malzemeler, (c) antiferromanyetik malzemeler, (d) düşük sıcaklıklarda ferromanyetik malzemeler

### 3.2. Manyetik Duygunluk ve Manyetik Geçirgenlik

Malzemelerin mıknatıslanması genellikle malzemeye uygulanan manyetik alana bağlıdır. Malzemelerin manyetik özelliklerinin ayırt edilmesinde önemli bir parametre olan manyetik duygunluk  $\chi$  paramanyetik ve diamanyetik malzemeler için mıknatıslanmanın  $M$ , manyetik indüksiyona  $B$  oranıdır.

$$\chi = \frac{M}{B} = \frac{M\mu_0}{H} \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir. Burada  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  Wb/A.m olup serbest uzayın manyetik geçirgenliğidir.  $M$  ve  $H$  aynı boyutta oldukları için  $\chi$  boyutsuzdur. Denklem (3.1) ferromanyetik malzemeler için geçerli değildir. Manyetik duygunluk, maddenin kendisine uygulanan manyetik alana karşı gösterdiği tepkinin bir ölçüsüdür. Manyetik akı yoğunluğu ( $B$ ) manyetik alandan dolayı meydana gelir ve ortamın manyetik alana karşı davranışını açıklar. Boşlukta, manyetik alan ( $H$ ) ve manyetik indüksiyon ( $B$ ) arasında aşağıdaki bağıntı:

$$B = \mu_0 H \quad (3.2)$$

bulunur. Madde bir dış manyetik alana maruz kaldığında birim hacim başına manyetiklenme ( $M$ ) ile manyetik akı yoğunluğu ( $B$ ), manyetik alan ( $H$ ) arasında:

$$B = \mu_0(H + M) \quad (3.3)$$

bağıntısı vardır. (3.1) bağıntısı ile (3.3) bağıntısı birleştirilirse:

$$B = \mu_0 H(1 + \chi) \quad (3.4)$$

elde edilir. Burada  $(1 + \chi)$ , B ve H arasındaki orantıdır ve

$$\mu = (1 + \chi) \quad (3.5)$$

olarak elde edilir.  $\mu$  manyetik geçirgenlik (permabilite) olarak bilinir [61,65-67].

Farklı türdeki manyetik malzemeler manyetik duygunluklarına göre sınıflandırılabilir. Manyetik duygunlukları çok küçük ve negatif olan ( $\chi \approx -10^{-5}$ ) malzemeler diamanyetik malzemelerdir. Diamanyetik duygunluk sıcaklıktan bağımsızdır. Bu malzemeler uygulanan manyetik alana karşı koyacak şekilde tepki gösterirler. Manyetik duygunlukları yine çok küçük fakat pozitif olan ( $\chi \approx 10^{-5} - 10^{-3}$ ) olan malzemeler paramanyetik malzemelerdir. Bir dış manyetik alan yokken bu malzemelerin manyetik momentleri rastgele yönlenmiştir. Dış manyetik alana maruz kaldığında atomik manyetik momentleri alan yönünde hizalanır [61,68]. Paramanyetik malzemelerin mıknatıslanması manyetik alanla doğru orantılıdır, manyetik duygunlukları mutlak sıcaklık ile ters orantılıdır. Çok yüksek manyetik alanlarda ve düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma maksimum olur [65]. Paramanyetik malzemelerin manyetik duygunluğunun sıcaklıkla ilişkisi denklem (3.6) da verilmiştir.

$$\chi = \frac{C}{T} \quad (3.6)$$

burada  $C$  Curie sabiti,  $T$  mutlak sıcaklıktır. Manyetik duygunlukları pozitif ve 1' den çok büyük olan manyetik malzemeler ferromanyetik malzemelerdir ( $\chi \approx 50 - 10^4$ ) [65,69]. Ferromanyetik malzemelerin atomları sürekli manyetik momente sahiptir. Bir dış manyetik alana maruz kaldığında atomik manyetik momentleri paralel olarak hizalanır. Dış manyetik alan kaldırıldığında mıknatıslanma özelliğini kaybetmezler [65]. Ferromanyetik malzemelerin manyetik duygunluğu sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığa bağlılığı Curie-Weiss yasası ile açıklanır. Buna göre:

$$\chi = \frac{C}{T - T_C} \quad (3.7)$$



şeklindedir [70]. Burada  $C$  Curie sabiti,  $T$  sıcaklık,  $T_c$  Curie sıcaklığıdır.

### 3.3. Curie Sıcaklığı

Ferromanyetik bir maddenin sıcaklığı Curie sıcaklığı olarak adlandırılan kritik bir sıcaklığa ulaştığında veya aştığında, madde artık mıknatıslanmasını kaybeder ve paramanyetik hale geçer. Curie sıcaklığının altında, manyetik alanlar hizalanır ve madde ferromanyetiktir. Curie sıcaklığının üstünde, termal enerji, manyetik momentlerin rastgele yönelimine neden olacak kadar büyüktür ve madde paramanyetik hale gelir. Tablo 3.1 de bazı ferromanyetik madde için Curie sıcaklıkları verilmiştir [65].

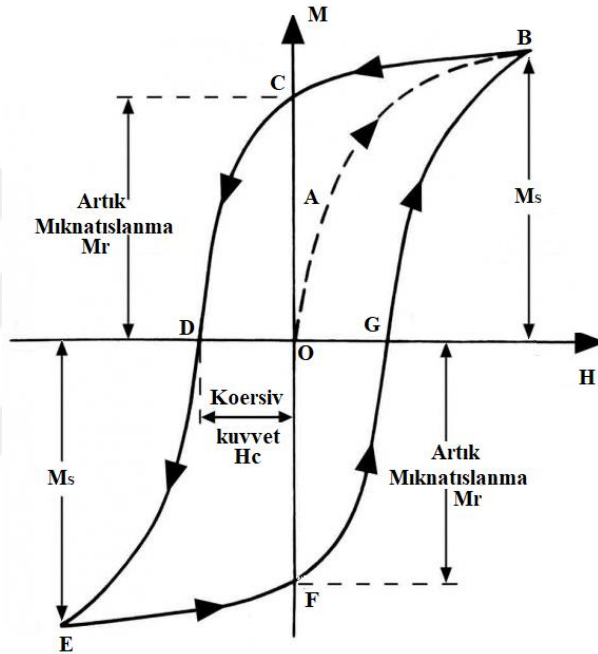
**Tablo 3. 1.** Bazı ferromanyetik saf malzemelerin Curie sıcaklıkları.

Malzeme	Curie sıcaklığı $T_{Curie}$ (K)
Demir	1043
Kobalt	1394
Nikel	631
Gadolinium	317
$Fe_2O_3$	893

### 3.4. Mıknatıslanma (Histerisiz) Eğrisi

Önceden mıknatıslanmamış bir numuneye bir manyetik alan uygulandığı zaman manyetiklenmesi yavaşça artacaktır. Manyetiklenme ( $M$ ) nin tipik değişimi Şekil 3.3' de şematik olarak gösterilmiştir [61]. Bu eğriye Histerisiz eğrisi denir. Bir ferromanyetik malzemenin özelliklerini tanımlamak ve malzemenin analizini yapmak için kullanılabilir [71]. Histerisiz eğrisinde başlangıç O noktasından olmak üzere manyetiklenme kısmen yavaşça artar. Maksimum artış oranına A noktasında ulaşır. B de sabit değere ulaşır. Bu noktada numune manyetik doyum değerine ( $M_s$ ) ulaşır. Doyum manyetizasyonu değeri, madde içindeki tüm manyetik momentlerin manyetik alan yönünde sıralandığı durumu ifade eder.  $M_s$  değeri, yalnızca atomik manyetik momentlerin büyüklüğüne ve birim hacimdeki atom miktarına bağlıdır [71]. H manyetik alanı azaltılarak sıfır yapıldığında manyetiklenme  $B \rightarrow C$  yolunu izler. H sıfır olduğunda sıfır olmayan bir manyetiklenme değeri vardır (C noktası). Bu değere

(kalıntı) artık manyetizasyon  $M_R$  denir. Manyetiklenmeyi sıfır değerine azaltmak için zıt doğrultuda manyetik alan uygulamak gerekir. Bu ters alan yeterince büyük ise manyetiklenme sıfır olur (D noktası) ve  $H'$  'ın uygulandığı doğrultuda artmaya başlar. Sonunda manyetiklenme yeniden  $M_s$  değerine ulaşır (E noktası).  $H$  yeniden azaltılırsa manyetiklenme E' den başlayarak F ve G yolunu takip ederek B noktasına geri dönecektir.  $H'$  'nin değişimi bu geniş zıt doğrultuda sürdürülürse manyetiklenme,  $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow B$  kapalı eğrisini takip eder bu kapalı eğri Histerisiz eğrisi,  $O \rightarrow A \rightarrow B$  eğrisi de ilk manyetizasyon eğrisi olarak isimlendirilir [61].



**Şekil 3. 3.** Histerisiz çevrimi.

Artık mıknatıslanma ters bir manyetik alan şiddeti uygulanarak sıfır seviyesine getirilebilir. Bu alan şiddetine Koersivite  $H_c$  denir. Koersif alan (Koersif kuvvet) manyetizasyonu doyum noktasından sıfır seviyesine çekmek için gerekli alandır [72]. Aşağıdaki Tablo 3.2' de bazı ferromanyetik malzemelerin doyum manyetizasyonu değerleri verilmiştir.

**Tablo 3. 2.** Bazı ferromanyetik saf malzemelerin doyum manyetizasyonu değerleri [72].

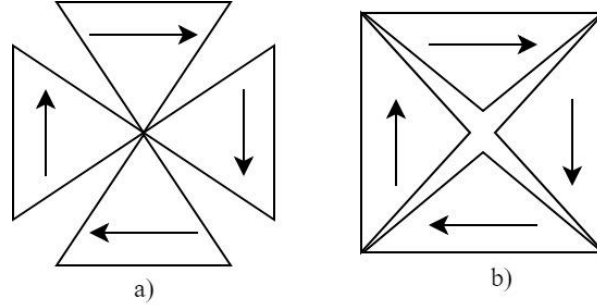
Madde	$M_S$ ( $10^6$ A/m)
Demir	1,71
Kobalt	1,42
Nikel	0,48
Permalloy (%78Ni, %22Fe)	0,86
Supermalloy (%80Ni, %15Fe, %5M <sub>0</sub> )	0,63
Metglas 2605 (Fe <sub>80</sub> B <sub>20</sub> )	1,27

Ferromanyetik malzemeler koersivite ( $H_c$ ) değerlerine göre yumuşak ve sert ferromanyetik malzemeler olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Sert manyetik malzemelerin koersiviteleri 10 kA/m değerinin üzerinde iken, yumuşak ferromanyetik malzemelerin koersivitesi 1 kA/m değerinin altındadır [71-73]. Sert ferromanyetik malzemelerin histerisiz çevriminin oluşturduğu alan yumuşak ferromanyetik malzemelere göre büyüktür. Sert ferromanyetik maddelerin kalıcı mıknatıslanmaları yüksekken yumuşak ferromanyetik maddelerin kalıcı mıknatıslanmaları düşüktür. Yumuşak ferromanyetik maddeler kolaylıkla mıknatıslanabilir ve çok kolay mıknatıslık özelliklerini kaybedebilirler. Yumuşak ferromanyetik malzemelerin histerisiz çevrimleri dar olduğundan çevrimdeki enerji kayıpları azdır [65]. Sert ferromanyetik malzemeler disk elemanlarında bilgi depolama için kullanılırken, yumuşak ferromanyetik malzemeler elektromıknatıslarda, elektrik motorlarında, transformatörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [71-73].

### 3.5. Manyetostriksiyon

Bir manyetik numunenin manyetizasyonu değiştirildiği zaman şeklinde çok az değişiklik olmaktadır. Bu değer genellikle  $1/10^5$  ya da daha küçük değerlerde olmaktadır. Bazı malzemeler manyetizasyon doğrultusunda uzar bazıları ise büzülür. Bu etki manyetostriksiyon olarak isimlendirilir. Birinci tip malzemeler pozitif manyetostriksiyon, ikinci tip ise negatif manyetostriksiyon olan malzemelerdir. Pozitif manyetostriksiyona sahip bir malzemeye gerilme stresi uygulanırsa uygulanan gerilime paralel bir manyetiklenme daha kolay olurken gerilime dik manyetiklenme zor olmaktadır. Sıkıştırma uygulanırsa sıkıştırma yönünde manyetiklenme daha zor

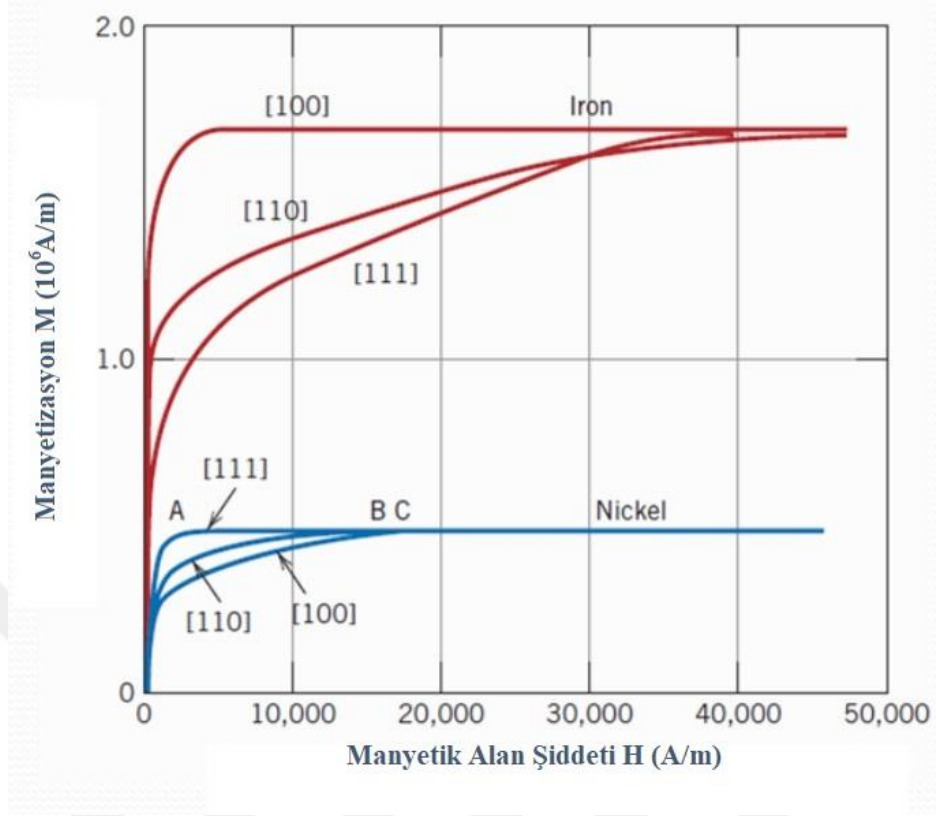
olacaktır. Şekil 3.4’ te pozitif ve negatif manyetostriksiyona sahip malzemelerin deformasyonu görülmektedir [61].



Şekil 3. 4. a) Pozitif b) Negatif manyetostriksiyona bağlı deformasyonlar

### 3.6. Manyetik Anizotropi

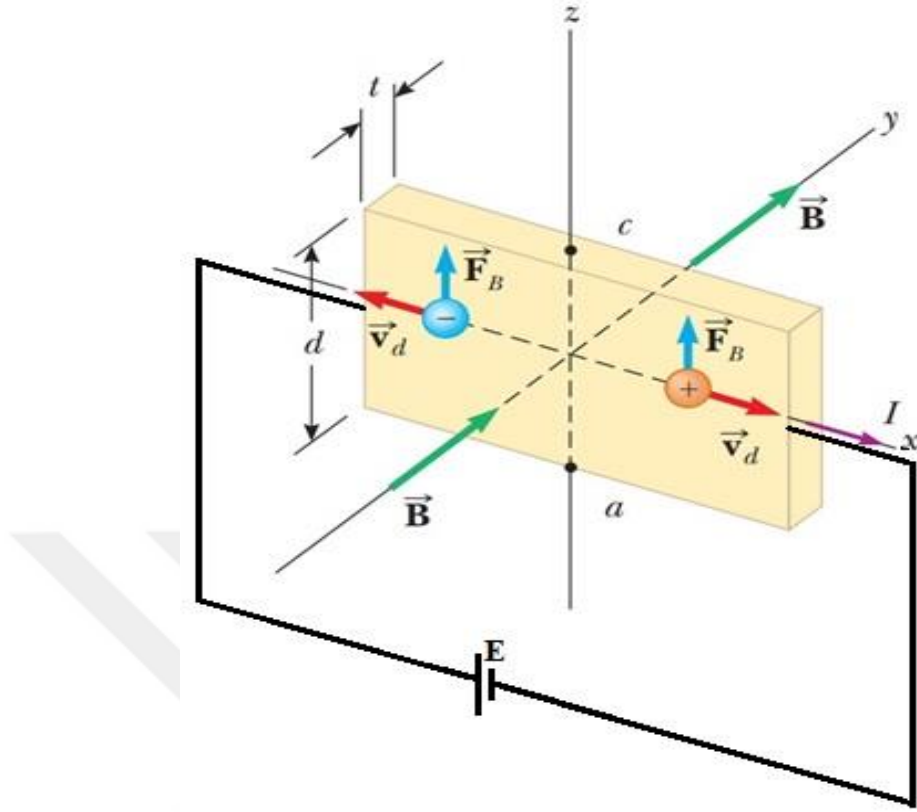
Ferromanyetik tek kristalli malzemelerin mıknatıslanması için “kolay” ve “zor” yönlerin olduğu deneysel bir gerçektir. Bir manyetik malzemeyi mıknatıslandırmak için gerekli enerji, uygulanan manyetik alanın ekseninin kristal eksenlerine göre yönüne bağlıdır [74]. Manyetik maddelerdeki atomik manyetik momentlerin tercihli yönler boyunca yönelmelerine “Manyetik Anizotropi” denir [75]. Manyetik alan uygulandığında atomik manyetik momentlerin düşük enerjiliyken bile yöneldikleri yöne manyetizasyonun kolay yönü denir. Manyetik malzemeyi kolay eksen boyunca manyetize etmek için gerekli manyetik alan şiddeti, diğer eksenleri manyetize etmek için gerekli manyetik alan şiddetinden daha düşüktür. Bir manyetik malzeme birden çok kolay manyetiklenme eksenine sahip olabilir. Kolay manyetiklenme eksenini boyunca ferromanyetik malzemelerin manyetik duygunlukları diğer eksenlere göre daha büyüktür [72]. Aşağıda Şekil 3.5’ te nikel ve demirin yönlere bağlı olarak manyetiklenmesi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 5. Demir ve nikel için manyetikleme eğrileri [76].

### 3.7. Hall Olayı

Hall etkisi ölçümleri, yarı iletkenlerde serbest taşıyıcı yoğunluğu, mobilitesi ve yarı iletkenin türünün tespiti için kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntem 1879 yılında Edwin Hall tarafından, akım taşıyan bir iletken üzerine etkiyen kuvvetleri araştırırken bulunmuştur. Üzerinden akım geçen bir yarı iletken malzemeye akıma dik doğrultuda bir manyetik alan uygulandığında malzemenin karşılıklı yüzeyleri arasında bir potansiyel fark oluşur. Oluşan bu potansiyel fark Hall gerilimi ve bu olay da Hall etkisi olarak bilinir [77]. Hall etkisini gözlemlene düzeneği Şekil 3.6' da gösterildiği gibi x yönünde  $I$  akımını taşıyan, genişliği  $d$  ve kalınlığı  $t$  olan düz bir iletkenden oluşur. Y ekseninde düzgün bir  $\vec{B}$  manyetik alanı akıma dik olacak şekilde uygulanır.



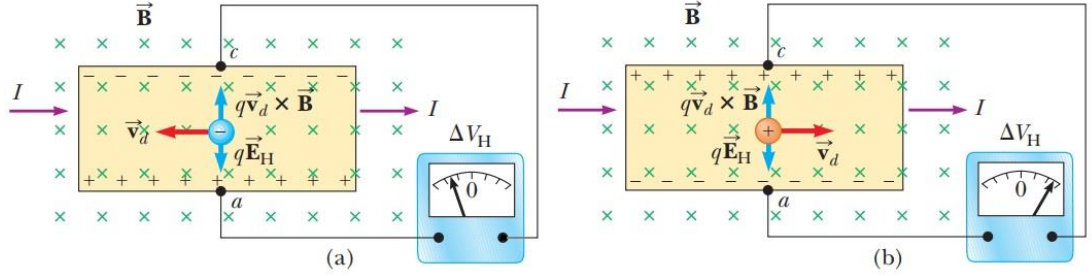
Şekil 3. 6 Hall etkisinin şematik diyagramı

Eğer yük taşıyıcıları  $-x$  yönünde  $\vec{v}_d$  taşıyıcı hızı ile hareket eden elektronlar ise, manyetik alandan dolayı yük taşıyıcılarına etkiyen manyetik kuvvet ;

$$\vec{F}_B = q \cdot (\vec{v}_d \times \vec{B}) \quad (3.8)$$

burada  $q$  birim yüküdür ( $1,602 \times 10^{-19}$  C). Bu kuvvet elektronların yukarı yönelmesine ve düz iletkenin üst kısmında toplanmasına sebep olur. İletkenin alt kısmında da pozitif yükler kalır. Bu iletken kenarlarındaki yük birikmesi iletken içinde bir elektrik alanı ( $E_H$ ) meydana getirir. Bu elektrik alan, iletken içerisinde kalan taşıyıcılara etki eden elektrik kuvveti ile manyetik kuvvetin etkidiği taşıyıcılar dengelenene kadar artar. Denge sağlandığında elektronlar yukarı doğru yönelmez olur. Hassas bir voltmetre ile Şekil 3.7.(a)'daki bağlantı yapılırsa iletkenin kenarlarındaki  $a$  noktası ile  $c$  noktası arasında bir potansiyel fark oluşur. Bu potansiyel fark Hall gerilimi  $\Delta V_H$  olarak bilinir. Eğer yük taşıyıcılar  $+x$  yönünde (akım ile aynı yönde)  $\vec{v}_d$  taşıyıcı hızı ile hareket eden pozitif deşikler ise manyetik alandan dolayı yük taşıyıcılarına etkiyen kuvvet Denklem 3.8 ile aynı olacaktır. Burada pozitif yükler düz iletkenin üst tarafında birikirken alt tarafta negatif yükler kalacaktır. Böylece numunede oluşan Hall geriliminin işareti,

Şekil 3.7.(b) de görüldüğü gibi elektronların yönlenmesi ile oluşan gerilimin zıttı olacaktır. Yük taşıyıcılarının işareti, Hall geriliminin polaritesi ölçülerek belirlenebilir [71].



Şekil 3. 7. Hall gerilimlerinin ölçümü.

Hall gerilimi için formül türetilirken; yük taşıyıcılarına etkiyen manyetik kuvvetin (denklem 3.8) büyüklüğüyle, yük taşıyıcılarının yönlenmesi ile oluşan elektrik alanın  $E_H$  ın meydana getirdiği elektrik kuvveti birbirine eşit olduğunda denge oluşur. Buna göre;

$$q \cdot E_H = q \cdot \vec{v}_d \cdot \vec{B} \quad (3.9)$$

ve buradan da;

$$E_H = v_d \cdot B \quad (3.10)$$

elde edilir.  $J$  akım yoğunluğu olmak üzere, eğer yük taşıyıcılar negatif yüklü elektronlar ise;

$$J = -q \cdot n \cdot v_d \quad (3.11)$$

Pozitif yüklü deşikler ise

$$J = q \cdot p_0 \cdot v_d \quad (3.12)$$

olacaktır. Burada  $n$  yarı iletkendeki elektron yoğunluğunu,  $p_0$  da deşik yoğunluğunu ifade eder. Denklem (3.10) akım yoğunluğunun ( $J$ ) bir fonksiyonu olarak türetilirse;

$$E_H = \frac{J}{qP_0} \cdot B \quad (3.13)$$

Düz iletkenin genişliği  $d$  olduğundan Hall geriliminin  $\Delta V_H$  değeri;

$$\Delta V_H = E_H \cdot d \quad (3.14)$$

buradan da

$$\Delta V_H = v_d \cdot B \cdot d \quad (3.15)$$

elde edilir. Eğer iletken levha genişliği  $d$  ve uygulanan manyetik alan şiddeti  $B$  değerleri biliniyorsa, Hall gerilimi ölçerek yük taşıyıcıların hızı hesaplanabilir. Yük taşıyıcı yoğunluğu (deşik yoğunluğu)  $P_0$ , akım ölçülerek elde edilebilir. Buna göre;

$$v_d = \frac{I}{q \cdot A \cdot p_0} \quad (3.13)$$

Burada  $A$  iletkenin kesit alanıdır. Denklemden  $v_d$  yerine denklem 3.12 yazılırsa;

$$\Delta V_H = \frac{I \cdot B \cdot d}{q \cdot A \cdot p_0} \quad (3.14)$$

elde edilir.  $A$  kesit alanı;

$$A = t \cdot d \quad (3.15)$$

$t$  iletkenin kalınlığını  $d$  iletkenin genişliğini ifade etmek üzere  $A$  değeri Denklem 3.14' deki yerine yazılırsa;

$$\Delta V_H = \frac{I \cdot B}{q \cdot t \cdot p_0} \quad (3.16)$$

denklemini elde edilir.

$$R_H = \frac{E_H}{J \cdot B} = \frac{1}{q \cdot p_0} \quad (3.17)$$

bu denklemde  $R_H$  Hall katsayısıdır. Bu değer Denklem (3.16)' da yerine yazılırsa;

$$\Delta V_H = \frac{I \cdot B}{t} \cdot R_H \quad (3.18)$$

denklemini elde edilir. Benzer şekilde

$$R_H = -\frac{1}{q \cdot n} \quad (3.19)$$

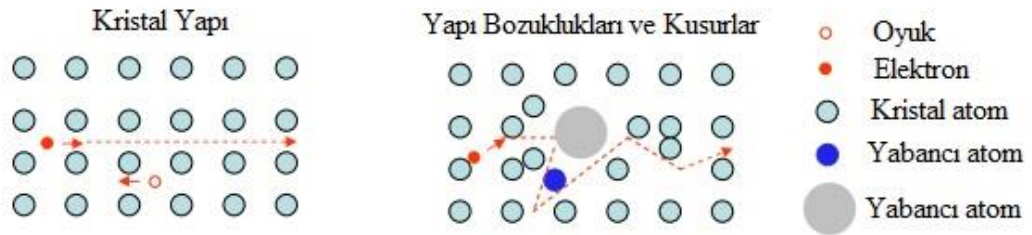
yazılabilir.



Hall katsayısının işareti yarı iletkendeki iletkenliğin ne tür taşıyıcılar (deşik ya da elektronlar) tarafından yapıldığını yani yarı iletkenin tipini ve değeri de bu taşıyıcıların yoğunluğunu belirtir [71,77].

### 3.8. Mobilite ve Taşıyıcı Yoğunluğu

Bir yarı iletkende taşıyıcı hareketliliği, elektronik cihazların çalışması için en önemli parametrelerden biridir. Aslında mobilite, serbest taşıyıcıların (elektronlar veya oyuklar) harici bir elektrik alanına maruz kaldıklarında malzemede hareket etme kabiliyetlerini ölçer. Yarı iletken elektrik alan uygulandığında elektronların veya oyukların sürüklenme hızı, elektrik alanın büyüklüğü ile orantılıdır ve mobilite olarak adlandırılır. Mobilite birim elektrik alan başına yük taşıyıcıların hızıdır ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ). Mobilitenin büyüklüğü, cihaz ürendeki taşıyıcıların geçiş süresi boyunca çalışma hızını, devre çalışma frekansını veya manyetik sensörlerdeki hassasiyeti belirlediği için cihaz performansını doğrudan etkiler. Mobilite iletkenin cinsine, saflığına ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi yarı iletken malzeme kristal yapıda ne kadar saf ise taşıyıcıların mobiliteleri o kadar yüksek olacaktır. [78,79]. Mobilite değerinin düşük olması yarı iletken içerisindeki yük taşıyıcıların çok sayıda hareketi kısıtlayıcı çarpışmaya uğradığının bir göstergesidir. Yüksek mobilite değerine sahip bir malzemede yükler daha rahat hareket edebilmektedir [80].



Şekil 3. 8 Kristal yapı kusurlarının mobiliteye etkisi [79].

Taşıyıcı mobilitesi  $\mu_p$  ;

$$\mu_p = \frac{J}{q \cdot p_0 \cdot E} \quad (3.20)$$

elde edilir. Formülde akım yoğunluğunun potansiyel farka oranı iletkenliğe eşit olduğu için mobilite;

$$\mu_p = R_H \cdot \sigma \quad (3.21)$$

şeklinde yazılabilir. Numunede Hall gerilimi  $\Delta V_H$  ölçüldükten sonra Denklem 3.16' da akım ( $I$ ), manyetik indüksiyon ( $B$ ) değerleri yerlerine yazılarak  $R_H$  değeri hesaplanabilir. Denklem (3.17)' den  $P_0$  taşıyıcı yoğunluğu Denklem (3.22) ile hesaplanabilir;

$$P_0 = \frac{1}{qR_H} \quad (3.22)$$

Numunenin yüzey direnci  $R_s$  olmak üzere Hall Mobilitesi  $\mu$ ;

$$\mu = \frac{\Delta V_H}{I.B.R_s} \quad (3.23)$$

denklemini elde edilir. Denklem (3.16) teki değerler Denklem (3.23)' te yerine yazılırsa;

$$\mu = \frac{1}{q.n.t.R_s} \quad (3.24)$$

denklemini elde edilir.

Tablo (3.3) te bazı yarı iletkenlerin mobiliteleri ve taşıyıcı yoğunlukları verilmiştir.

**Tablo 3. 3.** bazı yarı iletkenlerin mobilite ve taşıyıcı yoğunlukları [79].

Yarı iletken	$E_g$ (eV)	Özgün taşıyıcı Yoğunluğu ( $cm^{-3}$ )	Mobilite ( $cm^2/Vs$ )	
			$\mu_e$	$\mu_h$
Ge	0.67	$2.5 \times 10^{13}$	3900	1900
Si	1.11	$1.5 \times 10^{10}$	1350	480
GaAs	1.43	$2.0 \times 10^6$	8500	400
InAs	0.36	$2.0 \times 10^6$	22600	200

### 3.9. Manyetorezistans

Bir iletkenin, üzerinden akım geçişine karşı göstermiş olduğu zorluk elektriksel direnç olarak tanımlanır. İletkene elektriksel alan uygulandığında ideal olarak elektronların, malzeme içinde hiçbir engelle karşılaşmadan hareket etmesi istenir fakat malzemenin içindeki atomlar genellikle buna engel olur. Elektrik akımını oluşturan elektronlar hareketleri sırasında malzemeye bağlı durumda bulunan atomlarla karşılaştıkları zaman çeşitli yönlere hatta tamamen geriye doğru saçılır. Metalik malzemelerde direnç

iletim elektronlarının bu saçılmalarından kaynaklanır. Bundan dolayı metal malzemelerde elektrik akımının geçişine karşı oluşan direnç, yabancı atomlardan, kristal kusurlarından, safsızlıktan ve fononlardan oluşan elektron saçılımından kaynaklanır [70,81].

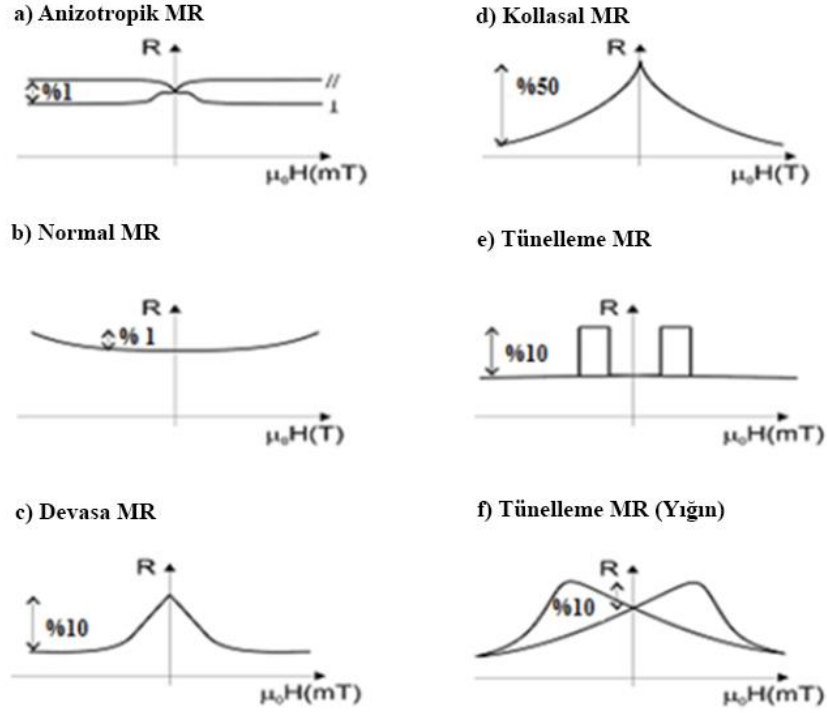
İnce film manyetorezistiv (MR) sensörler çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır ve yüksek hassasiyet, maliyet-verim açısından, küçük boyutları nedeni ile son elli yılda birçok kritik teknolojik alanda önemli bir etkiye sahip olmuştur [82]. Manyetorezistans tüm metallerde meydana gelen, uygulanan bir dış manyetik alan etkisi ile malzemenin elektriksel direncinde değişim olmasıdır. Genellikle aşağıdaki eşitlik ile verilir;

$$\%MR = \frac{\rho_H - \rho_0}{\rho_0} \cdot 100 \quad (3.25)$$

Burada;  $\rho_H$  belirli bir manyetik alan uygulandığındaki direnç değerini,  $\rho_0$  sıfır manyetik alan altında ki direnci ifade eder [83].

Klasik olarak manyetorezistans hem uygulanan manyetik alanın şiddetine hem de akıma göre manyetik alanın nispi yönüne bağlıdır [84]. Manyetorezistif etki ilk kez 1856 yılında Willam Thomson (Lord Kelvin) tarafından keşfedilmiştir. Lord Kelvin demir ile yaptığı deneylerde akımın manyetik kuvvet ile aynı doğrultuda olduğunda manyetorezistansın arttığını, manyetik kuvvet ile 90° açılı olduğunda manyetorezistansın azaldığını gözlemlemiştir [85]. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar ile farklı yapılara sahip malzemelerin “Normal Manyetorezistans” (NMR), “Anizotropik Manyetorezistans” (AMR), “Devasa Manyetorezistans” (GMR) ve “Tünelleme Manyetorezistans” (TMR) gibi farklı yapılarda Manyetorezistans gösterdiği keşfedilmiştir. Böylece manyetorezistansın büyüklüğü ve işareti ölçülen malzemenin türüne göre değişiklik gösterir [71]. Bir malzemede manyetik alan akıma dik uygulandığında ölçülen Manyetorezistans enine Manyetorezistans (EMR), manyetik alan akıma paralel olduğunda ölçülen Manyetorezistans boyuna Manyetorezistans (BMR) olarak isimlendirilir [86,87]. Malzemelerin anizotropi sabitleri, kompozisyonları, kristal yapıları, saflıkları ve kristal yapıdaki atom düzenlerinin uzunlukları gibi fiziksel özellikler manyetorezistansa belirleyici etki

etmektedir. Bundan dolayı malzemelerde farklı özellikler gösteren manyetorezistans davranışları görülmektedir. Şekil 3.9’ da görülen Anizotropik Manyetorezistans, Normal Manyetorezistans ve Kolossal Manyetorezistans malzemenin içyapısı sonucu ortaya çıkarken, Devasa Manyetorezistans ve Tünelleme Manyetorezistans özellikleri malzeme üzerine dış etkilerin baskısı sonucu ortaya çıkmaktadır [88].



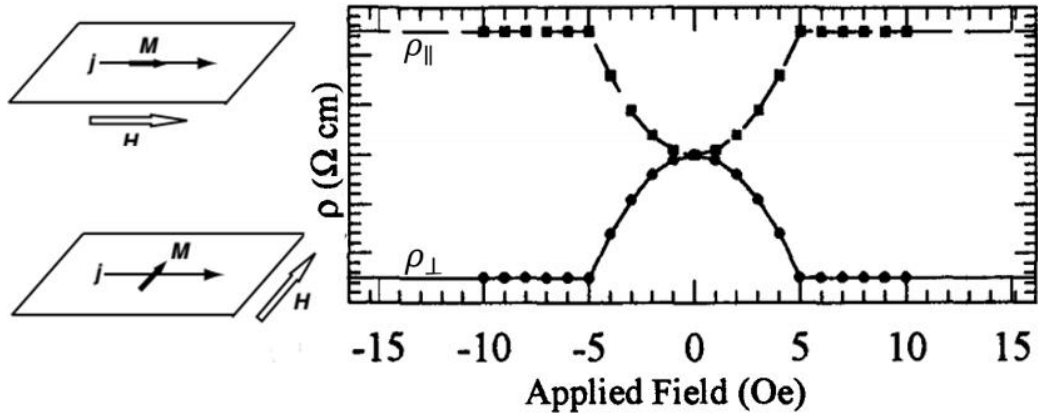
Şekil 3. 9 Bazı Manyetorezistans türlerinin şematik gösterimi [88].

### 3.9.1. Normal Manyetorezistans (OMR)

Ferromanyetik olmayan metallere bir manyetik alan uygulandığında manyetorezistanslarında çok küçük bir artış olur. Bu artış manyetik alanın karesi ile orantılıdır. Bu malzemelerde enine ve boyuna manyetorezistanslardaki artış pozitifdir ve enine manyetorezistans boyuna manyetorezistanstan büyüktür [84]. Normal manyetorezistans, malzemeye uygulanan dış manyetik alan iletkenliği sağlayan elektronlar üzerine bir Lorentz kuvveti uygulayarak elektronların daire içerisinde dönmeye zorlanmasından kaynaklanır ve bunun neticesinde malzemenin elektriksel direnci artar. Genelde metallerde normal manyetorezistans 1 Tesla civarında manyetik alan uygulandığında %1’ den daha küçük bir değerdedir [89].

### 3.9.2. Anizotropik Manyetorezistans (AMR)

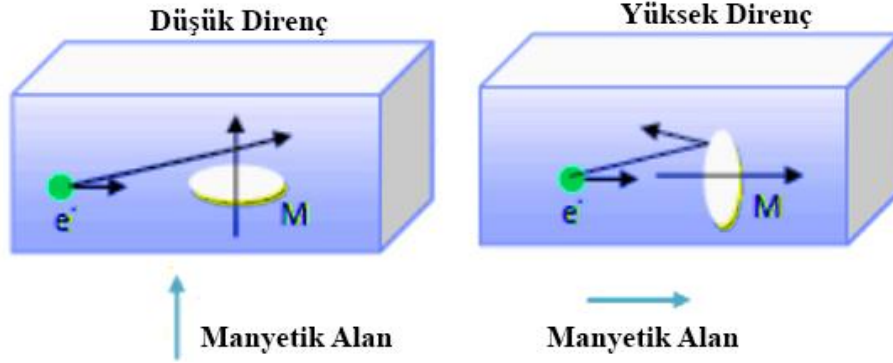
Anizotropik Manyetorezistans dijital kayıt ve manyetik baloncuklar için manyetik alan detektörü olarak önemli bir kullanım alanına sahiptir. Ferromanyetik malzemelerde anizotropik manyetorezistans William Thomas tarafından 1851 de keşfedilmiştir. Anizotropik Manyetorezistans elektrik akımı ile uygulanan manyetik alan arasındaki açıya bağlı olarak numunenin elektriksel direncinde meydana gelen değişimdir [90]. Ferromanyetik malzemelerde ve alaşımlarda (Ni, Fe, Co, NiFe, vb.) küçük bir manyetik alan uygulansa bile elektriksel dirençte bir değişim gözlemlenir. Bu ferromanyetik metallerde manyetik alanın akıma paralel uygulandığı durumda (boyuna manyetorezistans) manyetik alan artışı ile direnç ( $\rho_{\parallel}$ ) artar, uygulanan manyetik alanın akıma dik olduğu durumda (enine manyetorezistans) manyetik alan artışı ile direnç ( $\rho_{\perp}$ ) azalır. Bu etki anizotropik manyetorezistans olarak adlandırılır. Bu durum aşağıdaki şekil 3.10 da gösterilmiştir [90-93].



**Şekil 3. 10** Permalloy da manyetik alan akım ile aynı doğrultuda ( $\rho_{\parallel}$ ) ve akıma dik olduğunda  $\rho_{\perp}$  anizotropik manyetorezistansın şematik gösterimi [84,94].

Manyetorezistans etkisinin fiziksel orijini spin-orbit eşleşmesinde yatmaktadır. Her bir çekirdeğin etrafındaki elektron bulutu, mıknatıslanma yönü döndükçe hafifçe deforme olur. Bu deformasyon kafes içinde hareket eden iletken elektronların saçılım miktarını değiştirir. Buluşsal bir açıklama; mıknatıslanma yönünün kapalı yörünge akım yönüne göre döndüğüdür. Manyetik alan ve mıknatıslanma akıma dik olarak yönlendiğinde elektron yörüngeleri akımın düzleminindedir ve saçılma için düşük dirençli bir durum veren küçük bir enine kesit vardır. Tersine uygulanan alan ve mıknatıslanma akıma paralel olduğunda elektron yörüngeleri akıma dik yönlendirilir ve yüksek dirençli bir

durum oluşturacak saçılma için kesit artar. Bu durum aşağıdaki Şekil 3.11’ de gösterilmiştir [84].



**Şekil 3. 11.** Anizotropik manyetorezistansın şematik gösterimi [84].

Bir malzemeye manyetik alan uygulandığında malzemenin direncindeki değişim aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \cos^2 \theta \quad (3.26)$$

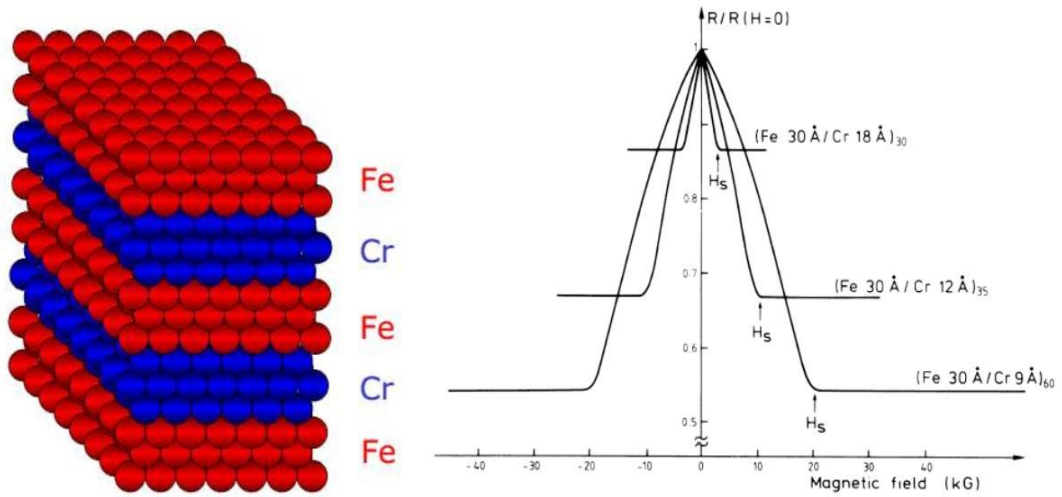
Burada;  $R_0$  bir manyetik alan yok iken numunenin normal direnci,  $\Delta R$  akıma paralel ya da dik olarak uygulanan manyetik alan ile meydana gelen dirençteki değişim,  $\theta$  açısı akım ile uygulanan manyetizasyon vektörü arasındaki açıdır. Denklem 3.24 te görüldüğü gibi akım ile manyetizasyon vektörü paralel olduğunda ( $\theta = 0$ ) direnç maksimum olacaktır. Akım ile manyetizasyon vektörü birbirine dik olduğunda toplam direnç  $R_0$ ’ a eşit olacaktır [87].

Anizotropik manyetik kafalar için kullanılan malzeme NiFe ( Permalloy)’ dur. Bu malzemedeki oda sıcaklığında ve düşük manyetik alan yoğunluğunda ( $H_s \sim 5-10$  Oe) nispeten büyük anizotropik manyetorezistans etki gözlemlenmesinden ( $\Delta\rho/\rho \sim \%2$ ) kaynaklanmaktadır. Kayıt kafalarında, uygulanan manyetik vektörü kafa içinden geçen akıma diktir. Bu nedenle geçerli yöne dik alanlar için anizotropik manyetorezistans etkisi kullanılır ( $\rho_{\perp}$  Şekil 3.10) [84].

### 3.9.3. Devasa Manyetorezistans (GMR)

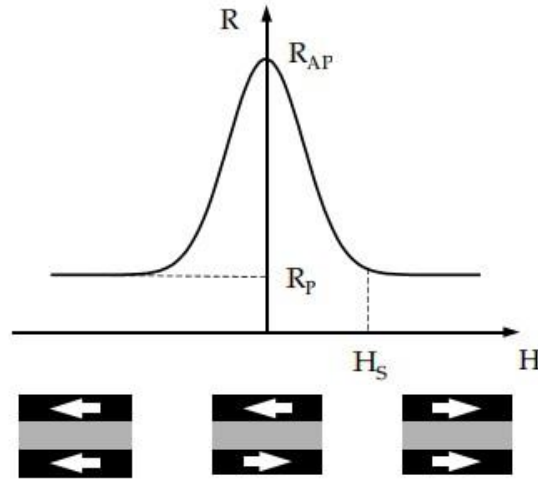
Devasa Manyetorezistans, ince film manyetizmasındaki en etkileyici keşiflerden biridir ve bu hem muazzam bir teknolojik potansiyeli hem de derin temel fiziği birleştirir. 1988 de Albert Fert ve Peter Grünberg tarafından keşfedilen ve on yıl içinde devasa manyetorezistansı kullanarak üretilen sabit disk okuma kafaları, manyetik alan sensörleri ve manyetik bellek yongaları gibi birçok ticari cihaz yapılmıştır. Devasa

manyetorezistans ta diğer manyetorezistanslar gibi manyetik alan ile elektriksel dirençteki değişimi ifade eder [89]. Fe/Cr çok katmanlı yapıya manyetik alan uygulanması sonucunda çok katmanlı yapının elektriksel direncinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 3.12 de gösterilmiştir [95]. Bu etki, normal manyetorezistans ve anizotropik manyetorezistanstan çok daha büyük değerde olduğu için devasa manyetorezistans olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde Fe/Cr/Fe üç katmanlı yapıda azalmış bir etki gözlemlenmiştir [96]. Daha sonra oda sıcaklığında Co/Cu çok katmanlı yapılarda devasa manyetorezistans etkisinin %60-70 civarında olabileceği gözlemlenmiştir [97]. Bu yapılarda; manyetik olmayan tabakanın kalınlığına bağlı olarak ya ferromanyetik ya da antiferromanyetik malzeme kullanılarak çiftler halinde katmanlar oluşturulur [84].



**Şekil 3. 12.** Devasa manyetorezistan [95].

Çok katmanlı bu yapılardaki direnç değişimi Şekil 3.13' te şematik olarak gösterildiği gibi uygulanan manyetik alan ardışık ferromanyetik katmanların momentlerini hizaladığında ortaya çıkar. Manyetik alan uygulanmazken ferromanyetik katmanların mıknatıslanması anti paraleldir. Manyetik momentleri hizalayan manyetik alan çok katmanlı yapının doyum mıknatıslanmasına doğru arttırıldığında numunenin elektriksel direncinde azalmaya yol açar [89].



Şekil 3. 13 Devasa manyetorezistansın oluşumunun şematik gösterimi [89].

Burada  $R_{AP}$  ferromanyetik tabakalardaki momentlerin anti paralel olduğu durumdaki direnci,  $R_P$  ise momentlerin paralel olduğu durumdaki direncini göstermektedir. Genel olarak devasa manyetorezistans etki aşağıdaki Denklem (3.25)' te gösterilmiştir;

$$GMR = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \quad (3.27)$$

Devasa manyetorezistansın oluşabilmesi için katmanların manyetik momentlerinin, birbirine göre yönlenebileceği uygun durum sağlanmalıdır. Bu, ferromanyetik çok katmanlı yapılarda ara tabaka değiş tokuş etkileşiminin özel bir durumu olarak anti ferromanyetik ara tabaka etkileşimi ile sağlanır. Ara tabaka değiş tokuş etkileşimi, metalik ara tabakalardaki non-manyetik (NM) serbest elektronların sayesinde oluşur. Ara tabaka değiş tokuş etkileşimi ferromanyetik ve anti ferromanyetik durum arasında non-manyetik tabaka kalınlığının fonksiyonu olarak değişim gösterir. NM tabaka için uygun kalınlık seçilerek ferromanyetik tabakaların dizilimi anti paralel hale getirilebilir ve daha sonra uygun alan ile manyetik momentlerin aynı yöne hizalanmaları mümkün olur [98].

Devasa manyetorezistans etkinin meydana gelmesi için her zaman anti ferromanyetik yüzey etkileşimi gerekli değildir. Bazı yapılarda anti paralel yönelim, birbirini takip eden ferromanyetik katmanların farklı koersivite değerlerinde olması ile de sağlanabilir. Bu durumda sert ve yumuşak ferromanyetik katmanların manyetik momentleri farklı manyetik alan değerleri ile döndürülür ve gerekli alan sağlandığında tamamen anti paralel hizalanırlar ve sonuç olarak da direnç büyümüş olur [99-101].



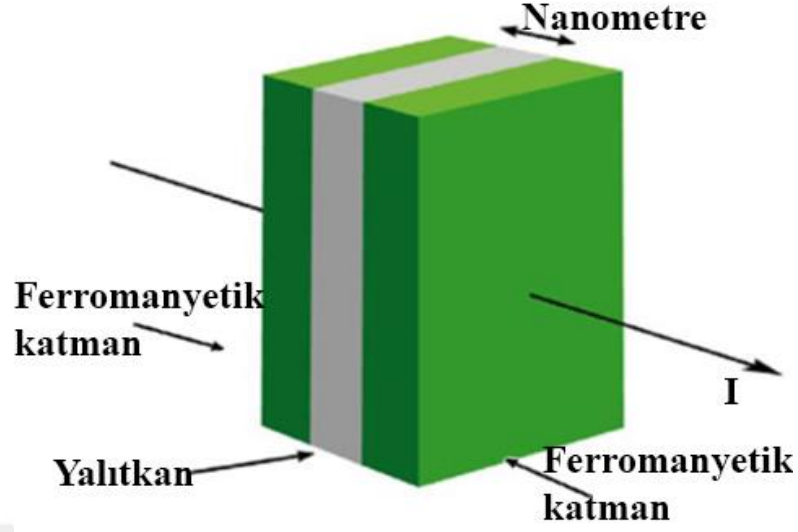
Anizotropik manyetorezistans etkisinin aksine, devasa manyetorezistans etki akım yönüne değil katmanlardaki mıknatıslanmanın göreceli yönüne bağlı olarak değişir [84].

#### **3.9.4. Kolossal Manyetorezistans(CMR)**

Normal manyetorezistans, anizotropik manyetorezistans ve devasa manyetorezistansa ilave olarak,  $La_{3-x}Ca_xMnO_3$  gibi manganit perovskit yapılarda “Kolossal” manyetorezistans (CMR) keşfedilmiştir. Birkaç manganit katmanının sıralanması ile Kolossal manyetorezistans etki çok büyük direnç değişimi gösterebilir. En büyük kolossal manyetorezistans etki  $La_{0.67}Mn_{0.33}O_3$  te  $\Delta R/R(H) = \%125,000$  olarak gözlemlenmiştir ve eğer sıfır manyetik alandaki değere göre normalize edilirse direnç değişimi  $\%99,9$  olacaktır [84]. Bu etki Curie sıcaklığı civarında birkaç Tesla manyetik alan uygulanması ile metal-yalıtkan geçişinden kaynaklanır. Bu özellik kolossal manyetorezistans etkinin olduğu malzemelerin uygulanabilirliğini oldukça sınırlı kılmaktadır [89]. Son zamanlarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki yalıtkan metal geçişi ve kolossal manyetorezistans etki oda sıcaklığına yakın değerlerde sağlanabilmektedir. HP oda sıcaklığında kolossal manyetorezistansı  $\%95$  değişim gösteren yüksek kaliteli film ürettiğini ve bu malzemenin  $50\text{ }^\circ\text{C}$  civarında nispeten düz bir direnç azalması gözlemediğini duyurmuştur [102]. Kolossal manyetorezistans etkideki bir diğer önemli sorun direnç - alan bağımlılığıdır. Büyük bir direnç değişim etkisi gözlemlenmek için  $10^4$  Oe gibi bir manyetik alan uygulamak gereklidir [84].

#### **3.9.5. Tünelleme Manyetorezistans (TMR)**

Tünelleme manyetorezistans etki son zamanlarda manyetik sensör ve depolama sektörlerinde olası uygulamaları nedeni ile büyük ilgi uyandırmıştır. Bu etkide devasa manyetorezistanstaki gibi ferromanyetik katmanlar bulunmaktadır fakat bu katmanlar arasında manyetik olmayan iletken tabaka yerine çok ince (birkaç nanometre kalınlıkta) yalıtkan tabaka kullanılmaktadır.

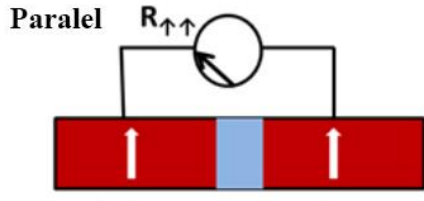


**Şekil 3. 14.** Tünelleme manyetorezistans yapının şematik gösterimi.

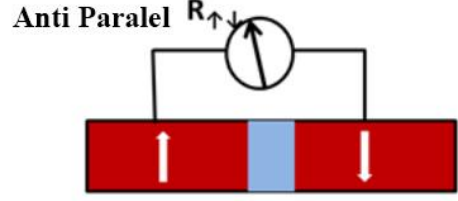
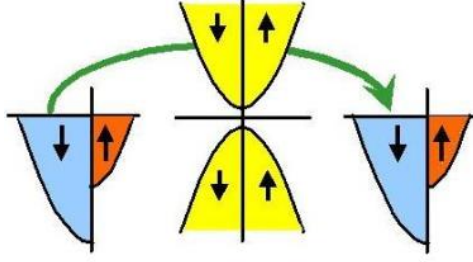
Devasa manyetorezistansa benzer şekilde bu etki de ferromanyetik katmanların momentlerinin nispi dizilimi ile belirlenir [89]. Devasa manyetorezistans ile tünelleme manyetorezistans arasındaki temel fark, tünelleme manyetorezistans genellikle ferromanyetik katmanlar birbirleri ile ferromanyetik olarak etkileşirken, devasa manyetorezistans ise ferromanyetik katmanlar birbirleri ile antiferromanyetik olarak etkileşir. Tünelleme manyetorezistans birbirinden ince yalıtkan bir tabaka ile ayrılmış ferromanyetik katmanlar arasındaki kuantum mekaniksel tünelleme mantığına dayanır. Ferromanyetik filmlerin manyetizasyonu harici bir manyetik alan tarafından iki ayrı yönde değiştirilebilir. Manyetizasyonlar paralel bir yönde ise elektronların yalıtkan tabaka boyunca, anti paralel yönde oldukları duruma göre daha fazla tünel açması olasıdır. Sonuç olarak böyle bir bağlantı biri düşük diğeri çok yüksek iki elektrik direnci durumu arasında değiştirebilir. Tünelleme manyetorezistans ekinin değeri aşağıdaki Denklem (3.26)'daki gibi hesaplanır [103].

$$\text{TMR} = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \quad (3.28)$$

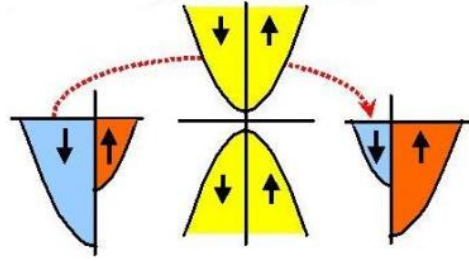
Burada  $R_{AP}$  anti paralel durumdaki elektriksel direnç,  $R_P$  paralel durumdaki elektriksel direnci ifade etmektedir.



Düşük Direnç



Yüksek Direnç



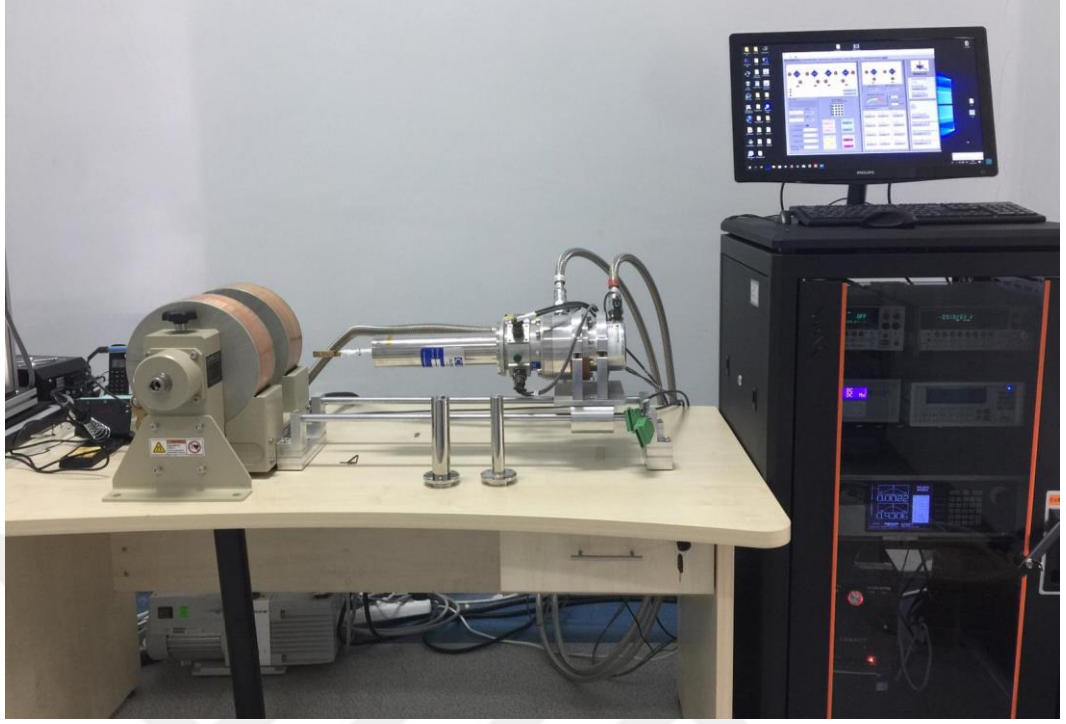
Şekil 3. 15. Manyetorezistansın paralel ve anti paralel hizalanması akım modeli

[103].

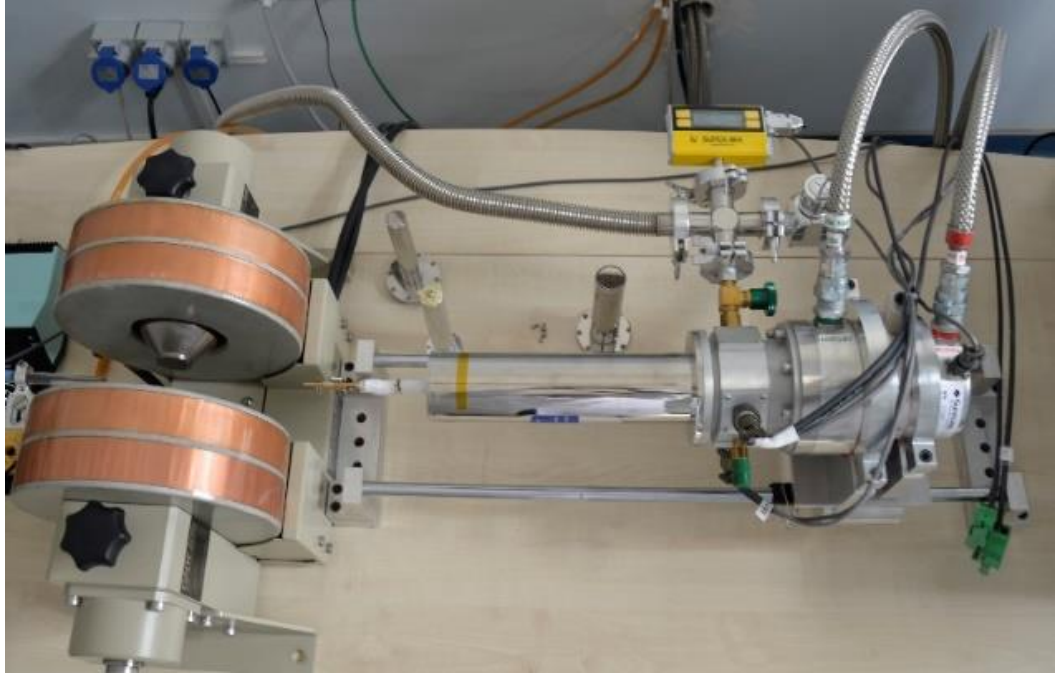
## 4. MATERYAL VE METOT

### 4.1. Numunelerin Hazırlanması

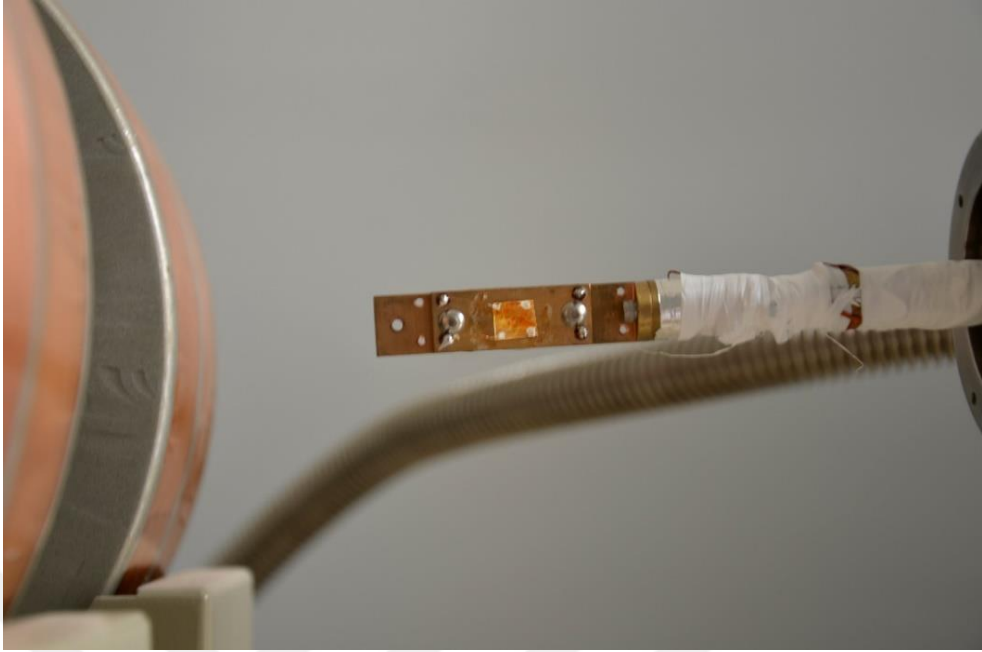
Bu çalışmada yüksek vakum altında sıçratma tekniği kullanılarak üretilen 9 nm kalınlığında  $Ni_{81}Fe_{19}$  (Permalloy) ile kaplanmış  $SiO_2$  altaşlı manyetik ince film kullanılmıştır. Numuneler İngiltere' de Sheffield Üniversitesi İleri Manyetik Malzemeler Laboratuvarında ( Sheffield University, Centre for Advanced Magnetic Materials and Devices) Prof. Dr. M.R.J Gibbs tarafından üretilmiştir. Genişliği 10 mm, uzunluğu 50-60 mm olan numuneler 5x5 mm ölçülerinde kesilmiştir. Numune analizlere başlanmadan önce alkol ve aseton ile temizlenmiştir. Bakır kablolar ve gümüş kaplama kullanılarak numunenin köşelerine elektrik kontaktarı oluşturulmuştur. Van der Pauw tekniği kullanılarak direnç ölçümü için numune düzlemi doğrultusunda sabit bir akım (10-100 mA) dengeli sabit akım kaynağı tarafından uygulanmıştır ve dijital voltmetreden gerilim değeri okunmuştur.  $\pm 15$  kA/m aralığında manyetik alan üretebilen Helmholtz bobinlerini sürmek için iki kutuplu güç kaynağı kullanılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak manyetik ölçümler 20 K-300 K sıcaklık aralığında 30 adımlık değişimlerinde Lake Shore Hall effect ölçüm sistemi (HMS) ile yapılmıştır. Her bir sıcaklık değeriinde Hall katsayısı ve direnç; akımın her iki yönde uygulanması ve mümkün olan tüm kontak bağlantı şekillerinin yapılması ile elde edilmiştir. İkinci olarak numuneye 25 K-350 K aralığında sıcaklıklar uygulanmıştır. Her bir sıcaklık değeriinde +1,4 KG ile -1,4 KG arasında 28 adımdan oluşan manyetik alan uygulanmıştır. Her bir adımda; her iki yönde akım, her iki yönde manyetik alan uygulanması ve mümkün olan tüm kontak bağlantı şekilleri yapılarak Hall katsayısı ve direnç Lake Shore Hall effect ölçüm sistemi (HMS) ile ölçülmüştür. Şekil 4.1 ve 4.2' de Lake Shore Hall effect ölçüm cihazı ve kontrol ünitesi, Şekil 4.3' te numunenin bağlantısı, Şekil 4.4' te Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı yazılımı kullanıcı ara yüzü görülmektedir.



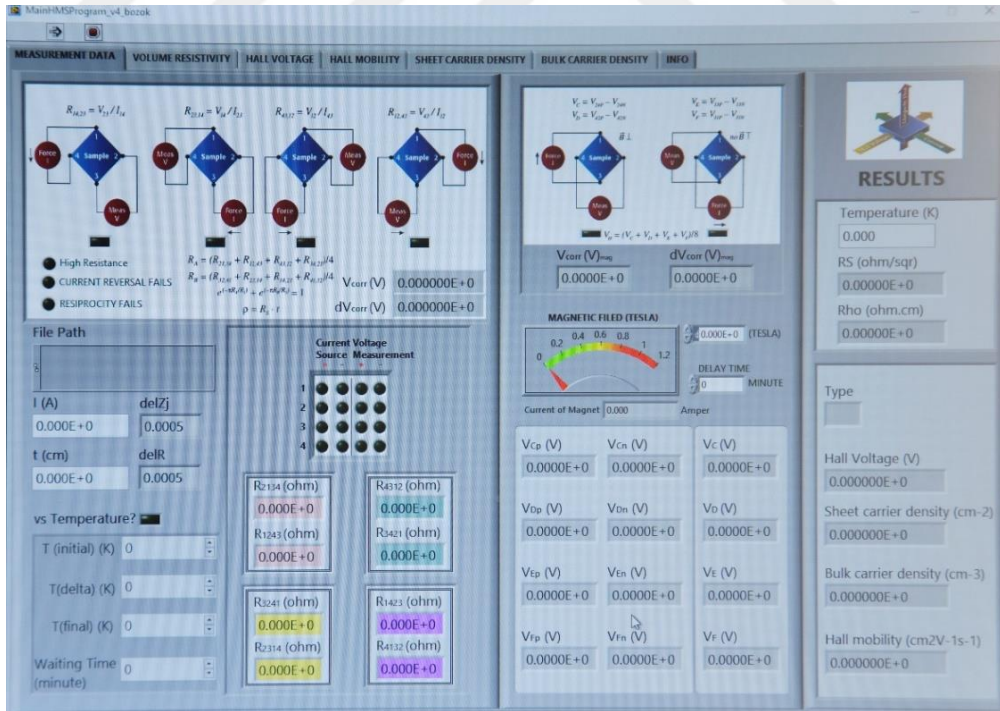
Şekil 4. 1. Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı ve kontrol ünitesi.



Şekil 4. 2. Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı.



Şekil 4. 3. Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazına numenin Van der Pauw metoduna göre bağlanması.



Şekil 4. 4. Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı bilgisayar programı kullanıcı arayüzü.

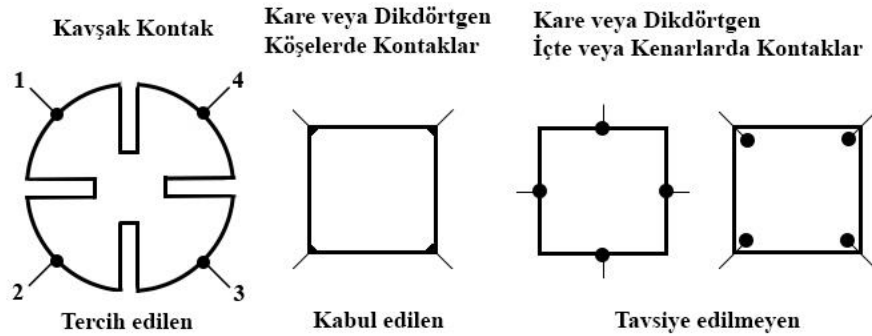
## 4.2. Van der Pauw (VDP) Tekniği ile Manyetorezistans Ölçümü

Yarı iletken bir ince film numunede mobilite  $\mu$  ve yüzey taşıyıcı yoğunluğu  $n_s$  yi hesaplayabilmek için direnç ve Hall ölçümlerinin her ikisinin de birlikte yapılması gerekmektedir. İnce film malzemelerin dirençlerinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntem Van der Pauw metodudur. Bu yöntemde manyetorezistans ölçümü, elektriksel iletkenlikleri yüksek olan dört proplu bir numune tutucuya yerleştirilen numune üzerinden voltaj okunması ilkesine dayanır. Ölçüm esnasında numuneye temas eden dört probun ikisinden sabit değerde bir akım geçirilirken diğer iki probtan gerilim okunur. Bu yöntemde numune elektromagnetler arasına bağlanır. Manyetik alan şiddeti değiştirilerek her manyetik alan şiddetinde oluşan gerilim değerleri kaydedilir. Numune üzerinden geçen akım sabit olduğundan dolayı elde edilen gerilim değeri elektriksel direnç değeri ile doğru orantılı olacaktır. Bu yüzden ölçülen voltaj değerindeki değişim numunenin manyetorezistans değerindeki değişim olarak kullanılabilir. Uygulanan manyetik alandaki değişim ile numunenin manyetorezistansındaki oluşan değişim % olarak;

$$MR(\%) = \frac{R(H) - R_{min}}{R_{min}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada  $R(H)$  uygulanan herhangi bir manyetik alandaki elektriksel direnç,  $R_{min}$  ise ölçüm anında elde edilen en küçük değerdir [105].

Hall gerilimi ve direnç ölçümü için Şekil 4.5' te gösterildiği gibi numunelerde Van der Pauw geometrisinde çok küçük omik kontaklar oluşturulması gerekir. Bu omik kontaklara iletken teller Şekil 4.5' de görüldüğü gibi saat yönünün tersi yönde 1, 2, 3, 4 ile görüldüğü gibi bağlanır.



Şekil 4. 5. Hall ölçümünde kullanılan örnek geometriler.

Direnç ölçmekteki amaç ince film malzemenin yüzey direncini belirlemektir. Van der Pauw  $R_A$  ve  $R_B$  gibi iki karakteristik direnç olduğunu açıklamıştır. Bu dirençlerin ölçüldüğü uçlar Şekil 4.6' da gösterilmiştir.  $R_A$  ve  $R_B$  dirençlerinin  $R_S$  yüzey direnci ile aralarındaki bağıntı Van der Pauw denklemi ile aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$\frac{\pi R_A}{e^{R_S}} + \frac{\pi R_B}{e^{R_S}} = 1 \quad (4.2)$$

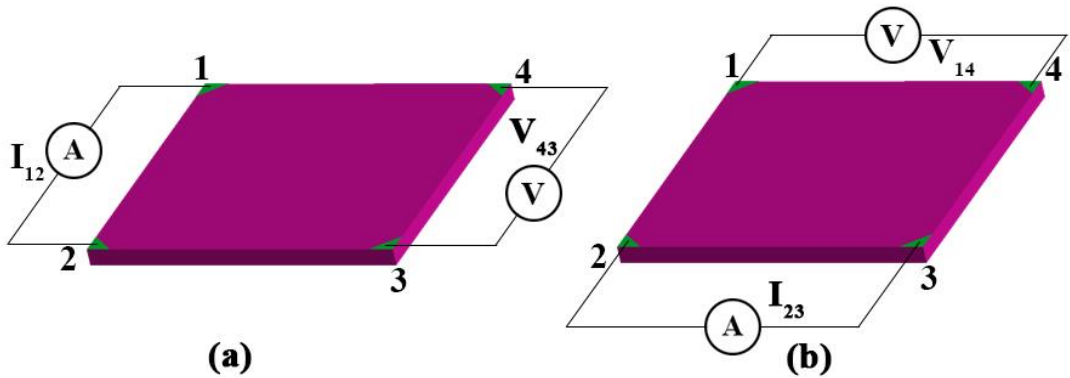
şeklinde ifade edilir ve buradan  $R_S$  değeri hesaplanabilir [104]. İki karakteristik dirençten ilkinini hesaplamak için Şekil 4.6.a da görüldüğü gibi yönü 1. kontaktan 2. kantağa doğru olan bir DC (direct current)  $I_{12}$  akımı (A) uygulanır. Daha sonra 4. kontak ile 3. kontak arasındaki  $V_{43}$  ( $V_4 - V_3$ ) potansiyel farkı (V) ölçülür. Buradan ohm kanunu yardımıyla;

$$R_A = \frac{V_{43}}{I_{12}} \quad (4.3)$$

$R_A$  direnci hesaplanır. Benzer şekilde ikinci karakteristik direnç değeri Şekil 4.6.b' deki bağlantı yapılarak, 2. kontaktan 3. kantağa doğru  $I_{23}$  akımı geçirilir ve 1. kontak ile 4. kontak arasındaki potansiyel fark  $V_{14}$  ( $V_1 - V_4$ ) gerilimi ölçülerek;

$$R_B = \frac{V_{14}}{I_{23}} \quad (4.4)$$

$R_B$  direnci hesaplanır.



Şekil 4. 6. Van der Pauw yöntemi ile yüzey direnci hesaplama.

Manyetik alan yok iken ( $B=0$ ) tüm kontaklardan sıra ile  $I_{12}$ ,  $I_{23}$ ,  $I_{34}$ ,  $I_{41}$ ,  $I_{21}$ ,  $I_{14}$ ,  $I_{43}$ ,  $I_{32}$  akımları uygulanır ve sırası ile  $V_{43}$ ,  $V_{14}$ ,  $V_{21}$ ,  $V_{32}$ ,  $V_{34}$ ,  $V_{23}$ ,  $V_{12}$ ,  $V_{41}$  gerilimleri



ölçülerek sekiz ayrı direnç değeri ohm kanunu kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned}
 R_{12,43} &= \frac{V_{43}}{I_{12}} & R_{21,34} &= \frac{V_{34}}{I_{21}} \\
 R_{23,14} &= \frac{V_{14}}{I_{23}} & R_{32,41} &= \frac{V_{41}}{I_{32}} \\
 R_{34,21} &= \frac{V_{21}}{I_{34}} & R_{43,12} &= \frac{V_{43}}{I_{12}} \\
 R_{41,32} &= \frac{V_{32}}{I_{41}} & R_{14,23} &= \frac{V_{23}}{I_{23}}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Yüzey direnci  $R_S$ ' yi hesaplamak için iki karakteristik direnç kullanılabilir.

$$R_A = \frac{R_{12,43} + R_{21,34} + R_{34,21} + R_{43,12}}{4} \tag{4.6}$$

$$R_B = \frac{R_{23,14} + R_{32,41} + R_{41,32} + R_{14,23}}{4} \tag{4.7}$$

Bulunan  $R_A$  ve  $R_B$  değerleri denklem 4.2' de yerine yazılarak  $R_S$  değeri hesaplanır. Yarıiletken ince film numunenin kalınlığı t olmak üzere hacimsel direnç  $\rho$ ;

$$\rho = R_S \cdot t \tag{4.8}$$

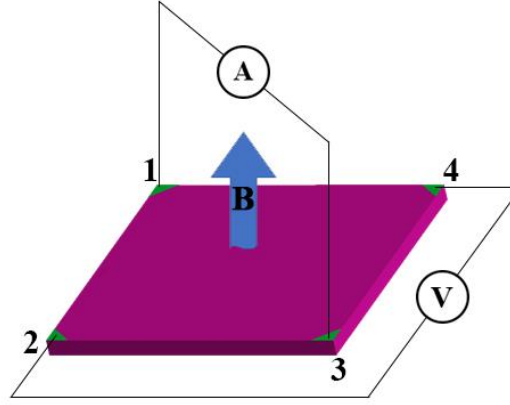
şeklinde hesaplanır.

### 4.3. Hall Etkisi Ölçümü

Van der Pauw ölçüm yönteminde Hall ölçümünün amacı  $V_H$  Hall gerilimini ölçerek  $n_s$  yüzey taşıyıcı yoğunluğunu belirlemektir. Hall gerilim ölçümünde sabit bir akım ve numune düzlemine dik bir manyetik alan (B) uygulanır ve beraberinde bir dizi gerilim ölçümü yapılır. Şekil 4.7' de yeniden gösterilen aynı numunede uygun bir şekilde aynı zamanda Hall etkisi ölçümü içinde kullanılabilir. Hall gerilimi  $V_H$ ' ı ölçmek için bir I akımı karşılıklı kontak çifti 1 ve 3' ten geçmeye zorlanır ve bunun karşısındaki diğer kontaklar olan 2 ve 4 nolu kontaklardan  $V_H$  ( $=V_{24}$ ) Hall gerilimi ölçülür. I, B, q değerleri bilindiği için  $V_H$  Hall geriliminin tespit edilmesi ile yüzey taşıyıcı yoğunluğu  $n_s$  Denklem 4.9 ile hesaplanabilir.

$$n_s = \frac{IB}{q \cdot V_H} \quad (4.9)$$

Numunenin kalınlığı biliniyorsa yüzey taşıyıcı yoğunluğu  $n_s$ , hacimsel taşıyıcı yoğunluğu  $n_0$  ve  $p_0$  hesaplamada kullanılır.



**Şekil 4. 7.** Van der Pauw metodu ile Hall gerilimi ölçümü.

Hall ölçümünde kontakların simetrik olmayan yerleşimi, ölçüm yapılacak numunenin şekli ve düzensiz sıcaklık dağılımı ölçüm hatalarına sebep olabilir. Bu durumu önlemek için Hall ölçümlerini iki aşamalı yapmak gereklidir. Buna göre;  $I_{13}$  akımı 1. kontaktan 3. kantağa doğru geçen akımı ifade eder bu esnada diğer iki noktadan  $V_{24P}$  gerilimi ölçülür. Benzer şekilde  $I_{31}$ ,  $I_{42}$ ,  $I_{24}$  akımları uygulanır ve  $V_{42P}$ ,  $V_{13P}$ ,  $V_{31P}$  gerilimleri ölçülür. Sabit ve düzgün B manyetik alanı z eksenine paralel olacak şekilde uygulanır. Pozitif z ekseni yönünde B pozitif, negatif z ekseni yönünde B negatif olarak uygulanır. Benzer ölçümler negatif yöndeki B manyetik alanı altında yeniden yapılır ve  $V_{24N}$ ,  $V_{42N}$ ,  $V_{13N}$ ,  $V_{31N}$  gerilimleri ölçülür. Ölçülen bu Hall gerilimleri numunenin tipini (p veya n) ve yüzey taşıyıcı yoğunluğu  $n_s$  yi belirlemek için kullanılır. Hall mobilitesi yüzey yoğunluğu ve direnç ölçümlerinden elde edilen  $R_S$  belirlenerek hesaplanır. Hall gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\begin{aligned} V_C &= V_{24P} - V_{24N} & V_D &= V_{42P} - V_{42N} \\ V_E &= V_{13P} - V_{13N} & V_F &= V_{31P} - V_{31N} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Numunenin tipi,  $V_C + V_D + V_E + V_F$  gerilim toplamının işaretine göre belirlenir. Eğer toplam pozitif ise numune p tipi, negatif ise numune n tipidir. Yüzey taşıyıcı yoğunluğu ( $\text{cm}^{-2}$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanır; eğer gerilimlerin toplamı pozitif ise

$$p_s = \frac{8 \cdot 10^{-8} \cdot I \cdot B}{q(V_C + V_D + V_E + V_F)} \quad (4.11)$$

şeklinde hesaplanır. Değerlerin toplamının negatif olması durumunda ise

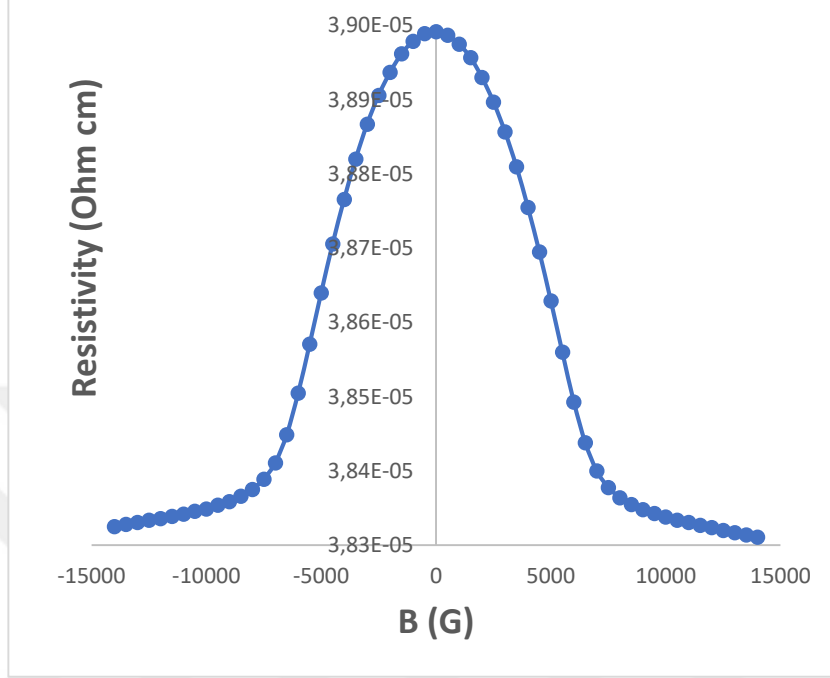
$$n_s = \left| \frac{8 \cdot 10^{-8} \cdot I \cdot B}{q(V_C + V_D + V_E + V_F)} \right| \quad (4.12)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $B$  manyetik akı yoğunluğu (Gauss) ve  $I$  akımını (Amper) olarak seçilebilir. Yüzey taşıyıcı yoğunluğu hesaplandıktan sonra numunenin kalınlığı  $t$  biliniyorsa hacimsel taşıyıcı yoğunluğu ( $\text{cm}^{-3}$ );

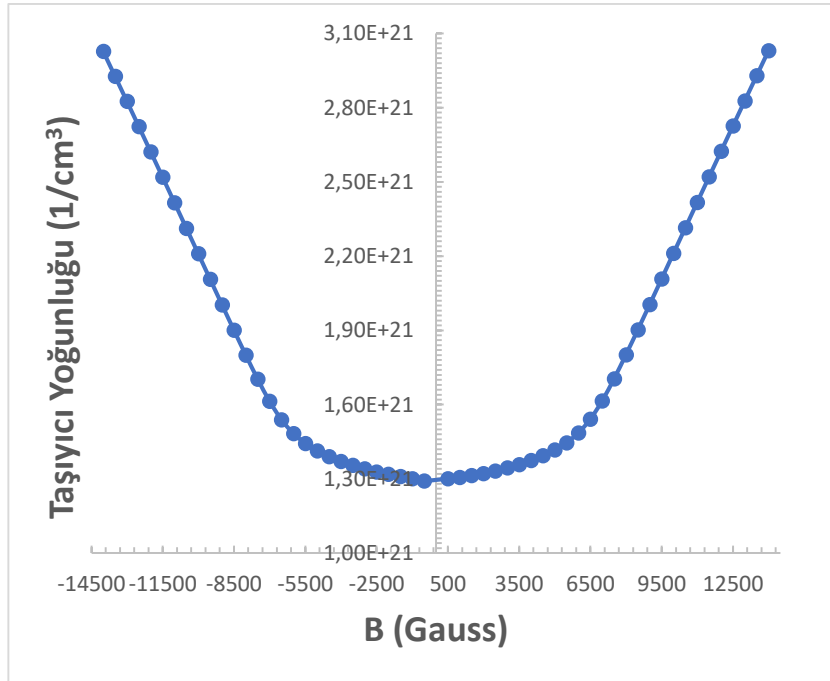
$$n_0 = \frac{n_s}{t} \quad p_0 = \frac{p_s}{t} \quad (4.13)$$

şeklinde bulunur. Hall mobilitesini bulmak için; yüzey taşıyıcı yoğunluğu  $n_s$  (ya da  $p_s$ ) ve yüzey direnci  $R_s$  Denklem 3.24' de yerine yazılarak  $\mu = 1/qn_s R_s (\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1})$ ' den hesaplanabilir [106].

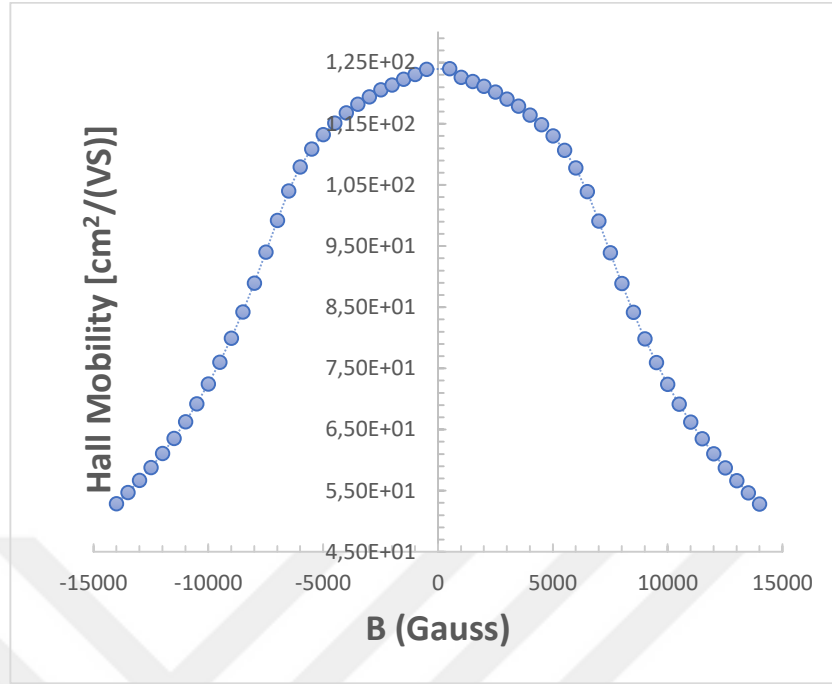
## 5. DENEYSEL SONUÇLAR



Şekil 5. 1. 300 K sabit sıcaklıkta direncin uygulanan manyetik alan ile değişimi.

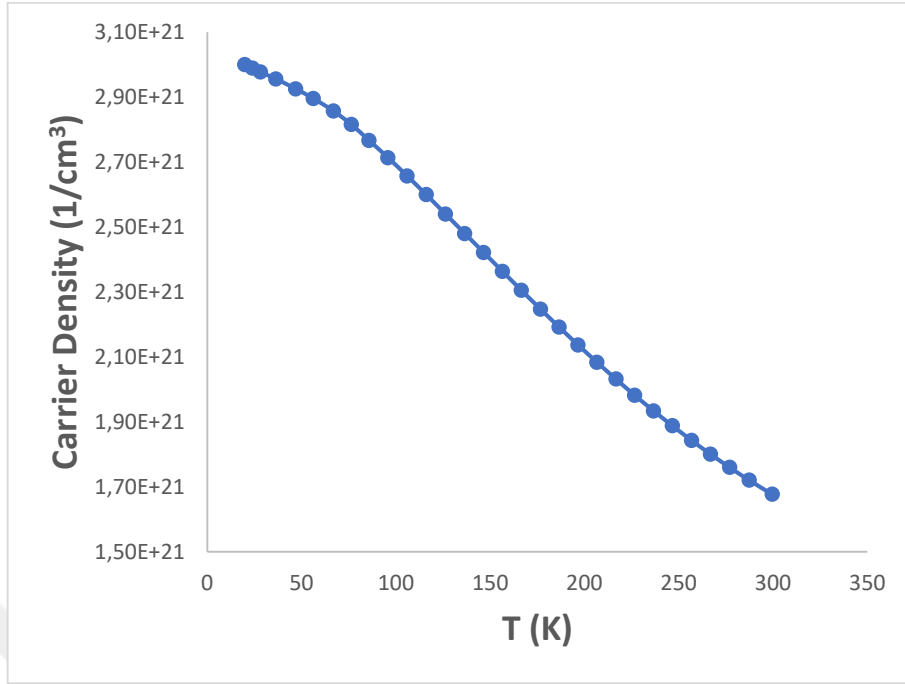


Şekil 5. 2. 300 K sabit sıcaklıkta taşıyıcı yoğunluğunun manyetik alan ile değişimi.

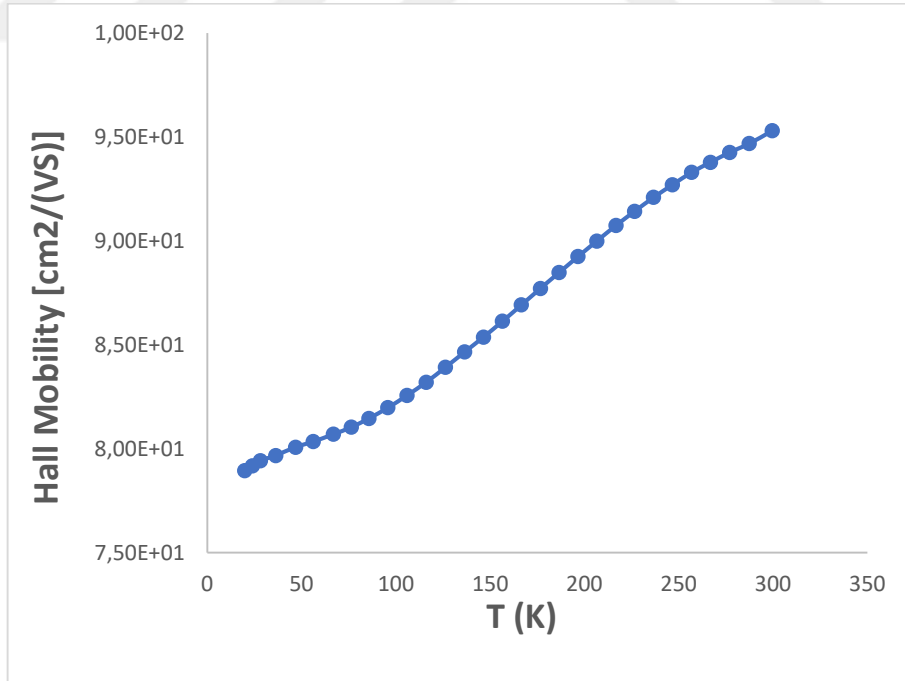


**Şekil 5. 3.** 300 K sabit sıcaklıkta Hall Mobilitesinin manyetik alan ile değişimi.

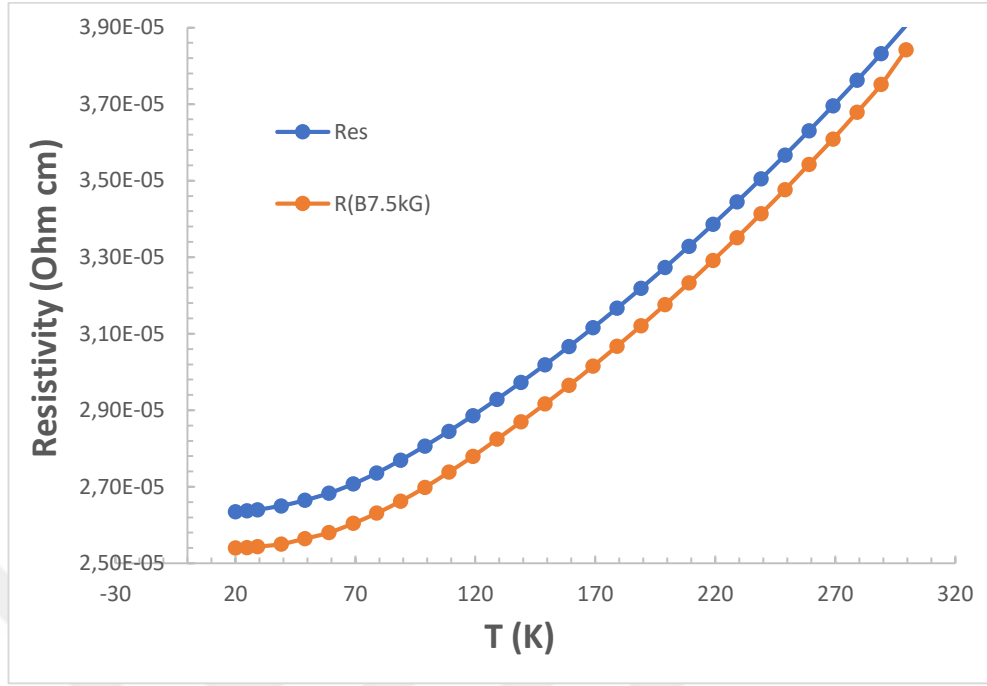
Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3' te görülen 9 nm kalınlığındaki Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub> (Permalloy) numuneye 300 K sabit sıcaklıkta +1,4 KG ile -1,4 KG arasında dış manyetik alan uygulanmıştır. Manyetik alan arttıkça numune direncinde azalma gözlemlenmiştir. Manyetik alanın artması, yük taşıyıcıların daha kolay alan etkisi ile çarpışma etkisinin azalmasına ve taşıyıcıların yönelimlerine ilave katkı sağlamasından dolayı direnç değerinde azalma oluşturmuştur. Manyetik alanın artması ile taşıyıcı yoğunluğu artmış bu da direnç değerinin azalmasına sebep olmuştur. Uygulanan alanın artması ile Hall mobilitesinin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 4. Yük taşıyıcı yoğunluğunu sıcaklık ile değişimi.

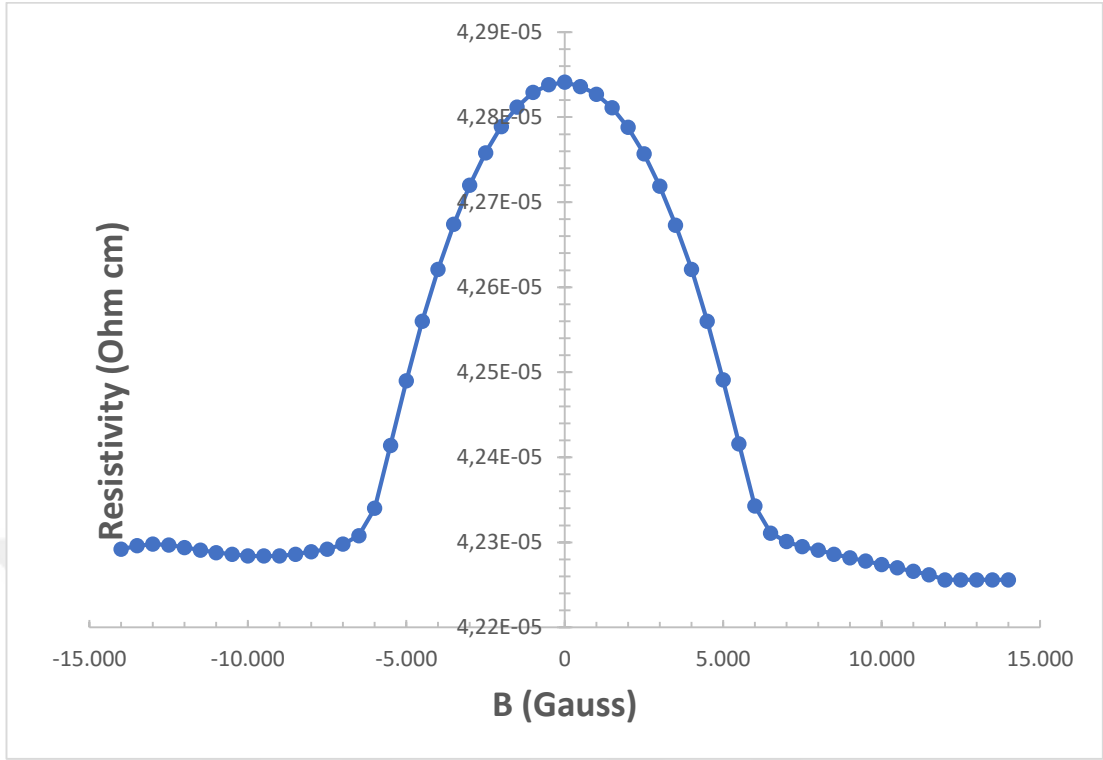


Şekil 5. 5. Hall mobility sıcaklık ile değişimi.

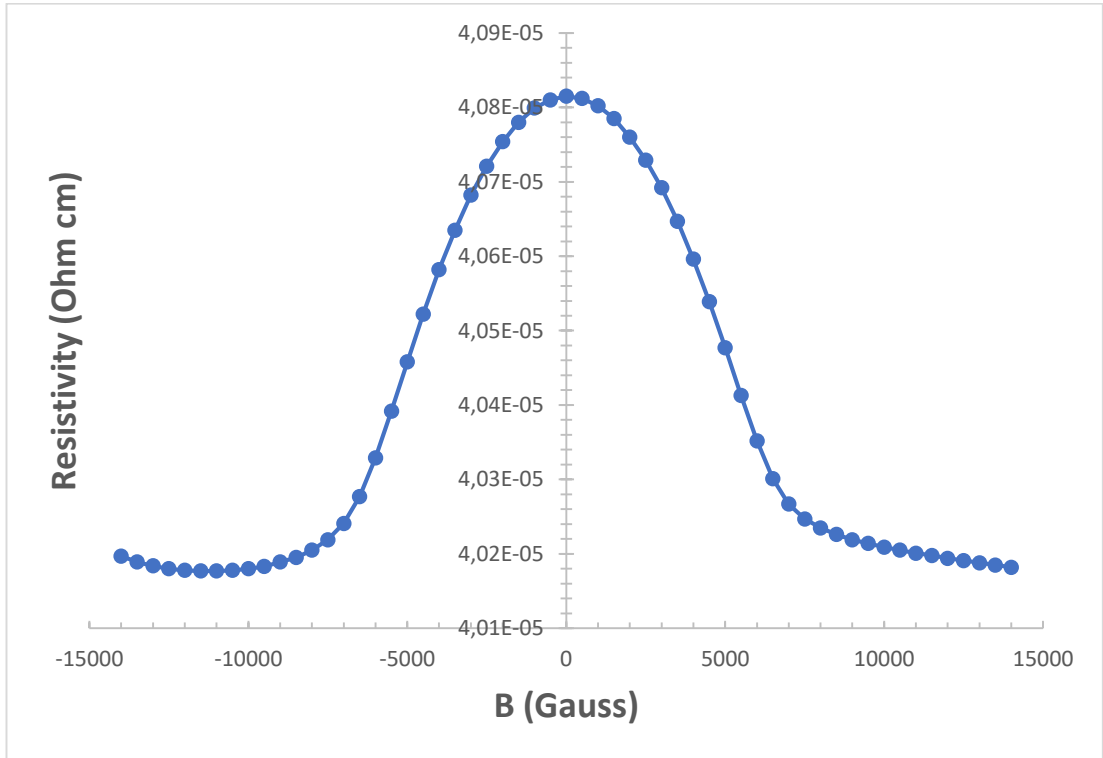


Şekil 5. 6. Manyetik alan uygulanmadan ve manyetik alan uygulandığında direncin sıcaklık ile değişimi.

Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6' da görülen 9 nm kalınlığındaki  $Ni_{81}Fe_{19}$  (Permalloy) numunede 7,5 KG sabit manyetik alan altında 20 K ile 300 K arasında 30 farklı sıcaklık değerinde ölçümler yapılmıştır. Sıcaklık arttıkça numunede Hall mobilitesi artarken taşıyıcı yoğunluğunda azalma gözlemlenmiştir. Bu, tipik iletken karakteristiğidir. Şekil 5.6' da görülen manyetik alan uygulanmadan yapılan ölçümler ile manyetik alan altında yapılan ölçümler kıyaslandığında manyetik alanın iletkenliği artırıcı etkileri sıcaklığa bağlı olarak gözlemlenmiştir. Manyetik alan uygulanması ile direncin azalma nedeni yukarıda da anlatıldığı gibi taşıyıcıların daha kolay alan etkisi ile çarpışma etkisini azaltması ve ilaveten taşıyıcıların yönelmelerine katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır.

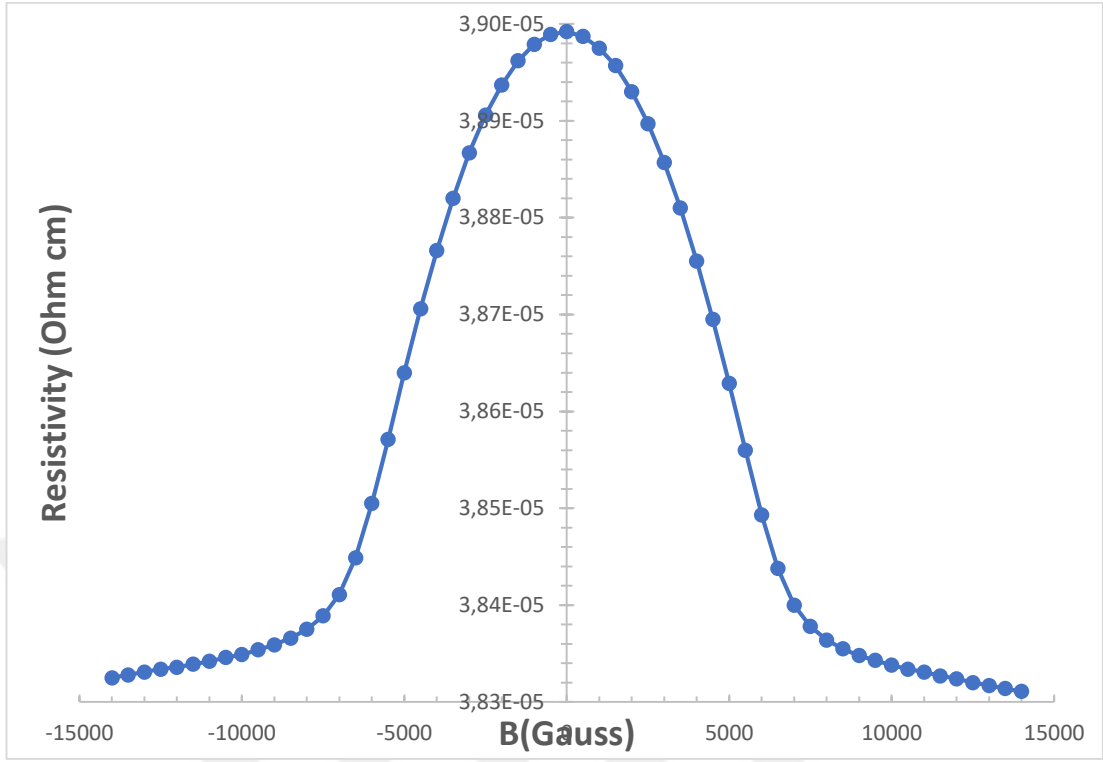


Şekil 5. 7. 350 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.

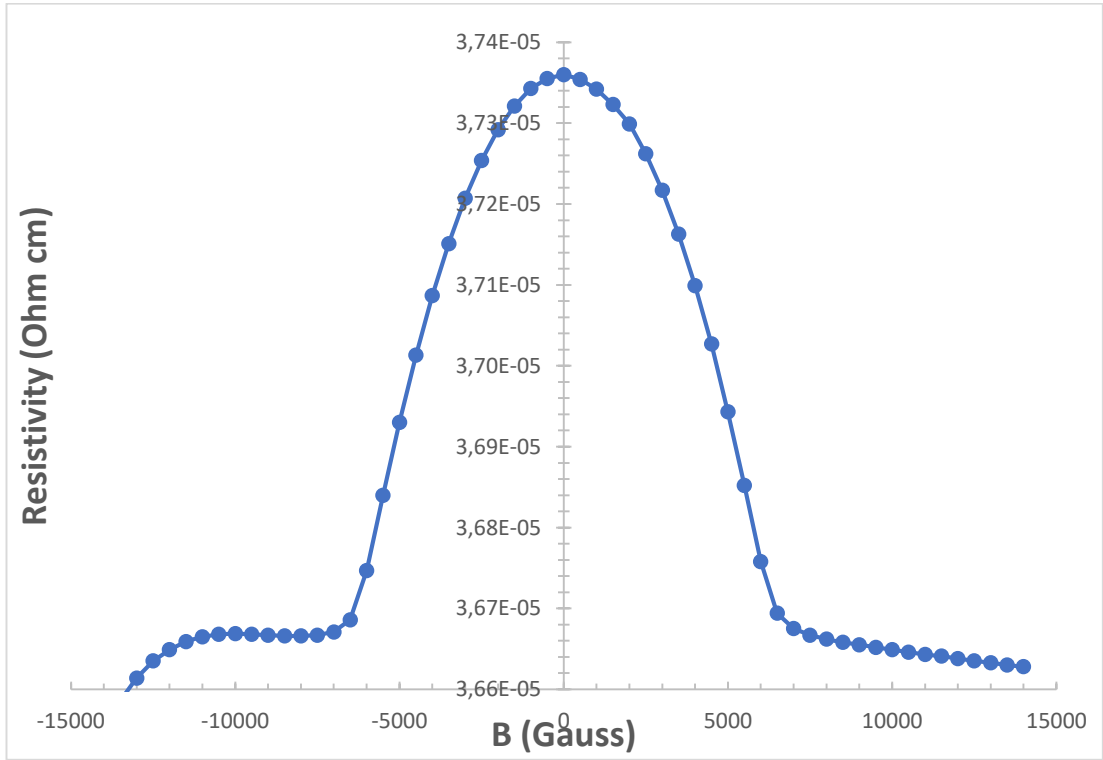


Şekil 5. 8. 325 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.

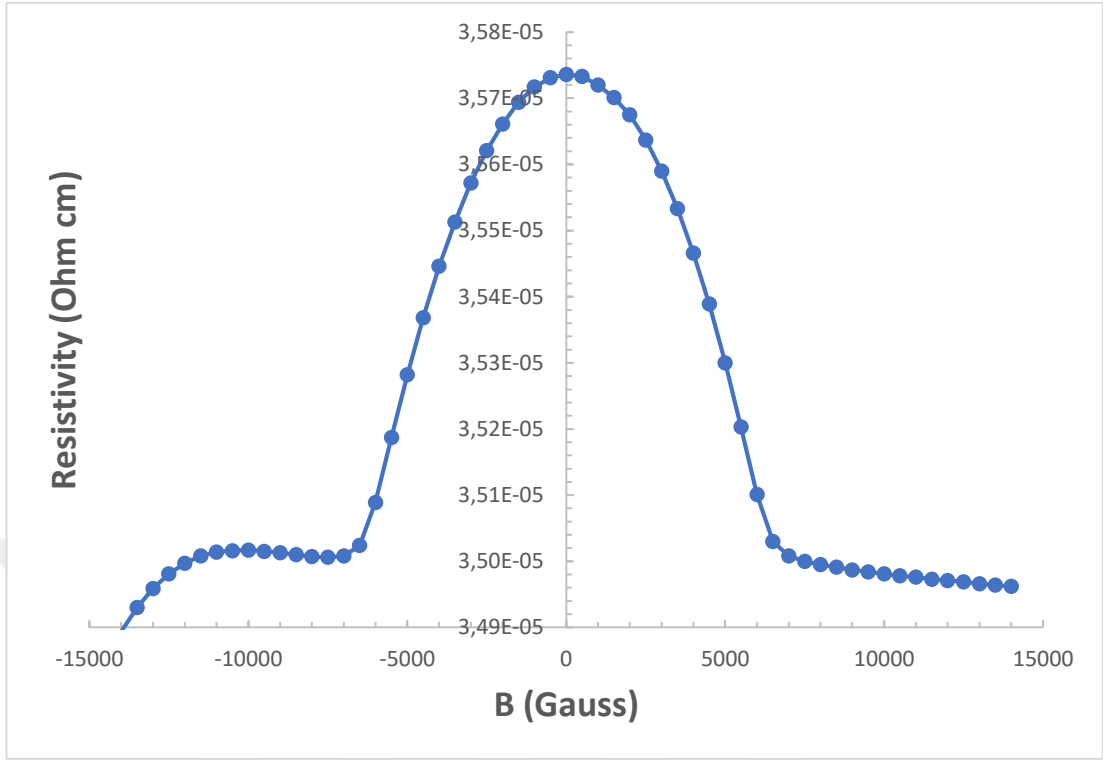




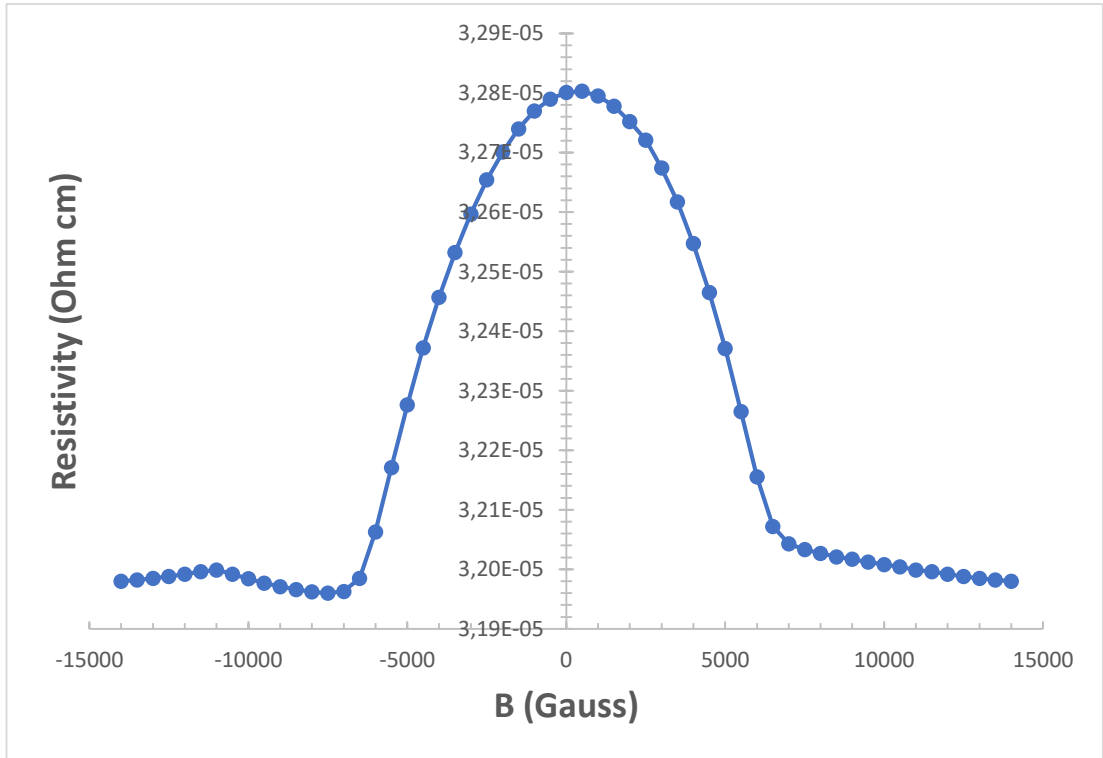
Şekil 5. 9. 300 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.



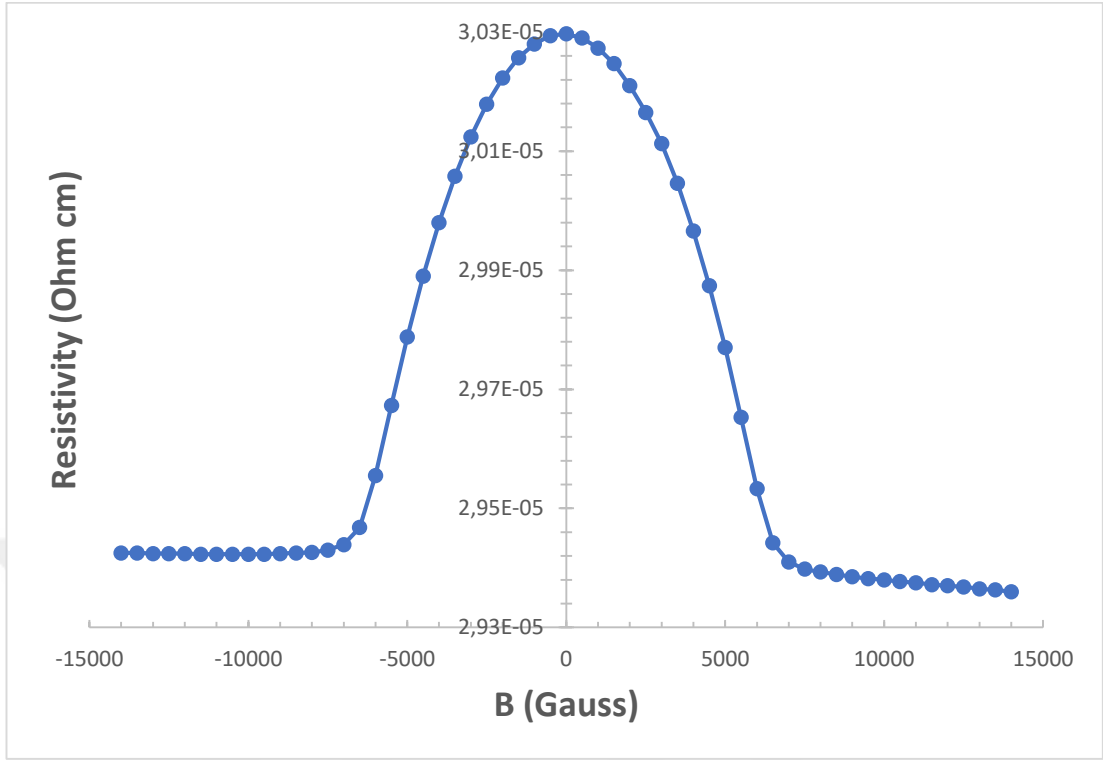
Şekil 5. 10. 275 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.



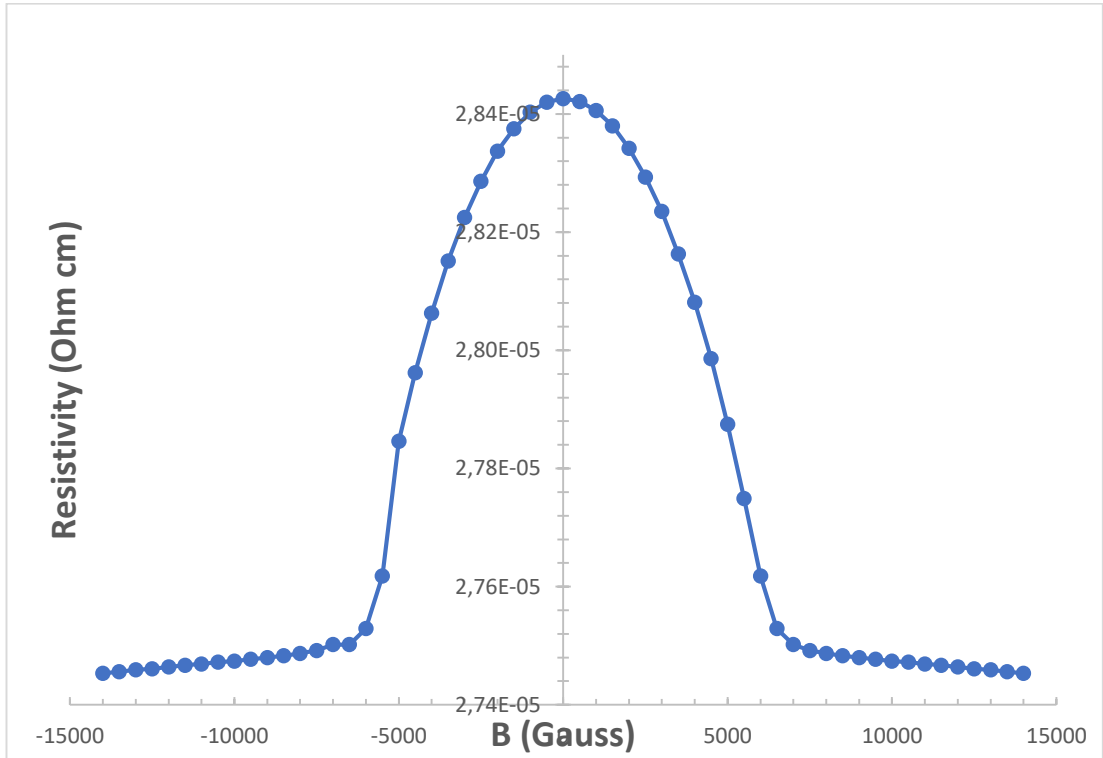
Şekil 5. 11. 250 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.



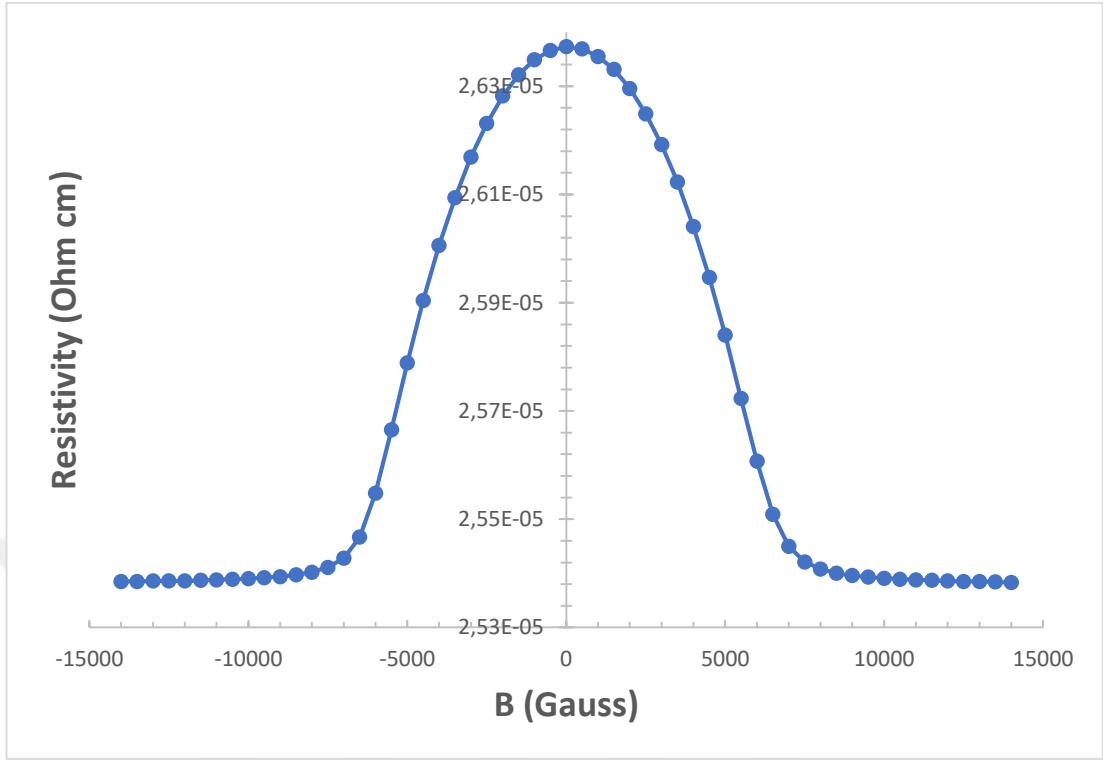
Şekil 5. 12. 200 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.



Şekil 5. 13. 150 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değışimi.

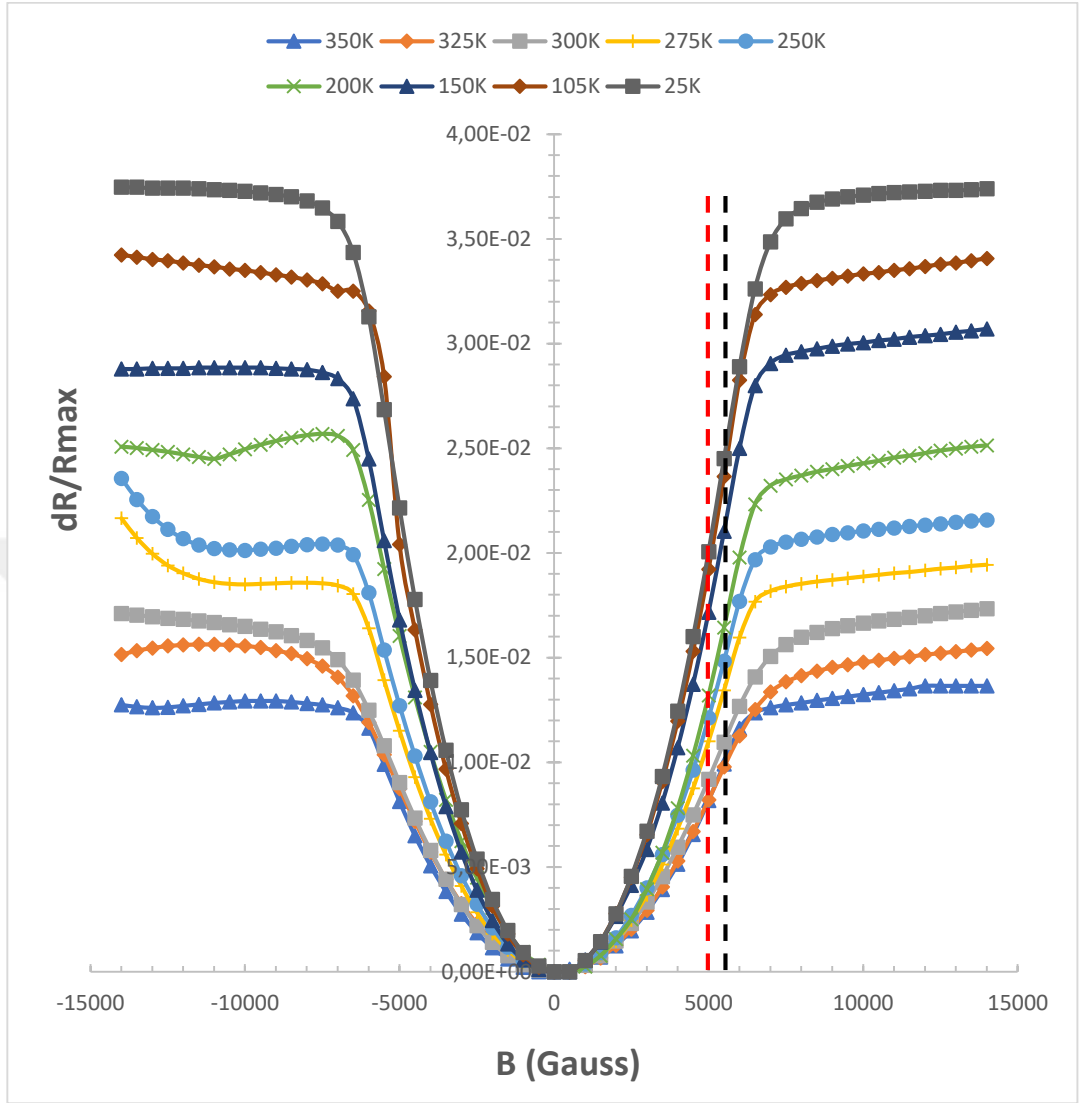


Şekil 5. 14. 105 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değışimi.



**Şekil 5. 15.** 25 K sıcaklıkta direncin manyetik alan ile değişimi.

Şekil 5.7' den 5.15' e kadar görülen 9 nm kalınlığındaki  $Ni_{81}Fe_{19}$  (Permalloy) numuneye 25 K den başlayıp 350K e kadar ısı uygulanmıştır. Her bir sıcaklık değerinde numuneye +1,4 KG ile -1,4 KG arasında her iki yönde 28 adımda dış manyetik alan uygulanmıştır. Her bir sıcaklık değeri için direncin uygulanan manyetik alana bağlı olarak değişimi gözlemlenmiştir. Tüm sıcaklık değerlerindeki grafiklerin normalizasyonu ile Şekil 5.16' daki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5. 16. 25-350 K sıcaklıklarda  $\pm 1,4$  KG değişken dış manyetik alan uygulanması ile elde edilen dirençlerin normalize edilmiş grafiği

Tablo 5. 1. 5000G, 5500G ta sıcaklık direnç değişimi ( $\Omega$  cm).

Manyetik Alan \ Sıcaklık	Sıcaklık								
	25K	105K	150K	200K	250K	275K	300K	325K	350K
5000 Gaus	2,5840 E-05	2,8775 E-05	2,9770 E-05	3,2321 E-05	3,5300 E-05	3,6943 E-05	3,8629 E-05	4,0477 E-05	4,2491 E-05
5500 Gaus	2,5723 E-05	2,7749 E-05	2,9653 E-05	3,2215 E-05	3,5203 E-05	3,6852 E-05	3,8560 E-05	4,0413 E-05	4,2416 E-05

Tablo 5.1 de görüldüğü üzere;

Aynı dış manyetik alan altında sıcaklık değeri arttıkça direncin arttığı,

Aynı sıcaklık değeri için manyetik alanın artması ile direncin azaldığı görülmektedir.

**Tablo 5. 2.** 5000G, 5500G ta normalize edilmiş sıcaklık direnç değişimi ( $\Delta R/R_{max}$ )

Sıcaklık Manyetik Alan	25K	105K	150K	200K	250K	275K	300K	325K	350K
	5000 Gaus	2,0061 E-02	1,9211 E-02	1,7167 E -02	1,3190 E-02	1,2118 E-02	1,1003 E-02	9,1825 E-03	8,2084 E-03
5500 Gaus	2,4498 E-02	2,3644 E-02	2,1030 E-02	1,6426 E-02	1,4832 E-02	1,3439 E-02	1,0952 E-02	9,7765 E-03	9,9204 E-03

Şekil 5.16 daki grafikten elde edilen Tablo 5.2. de görüldüğü üzere;

Aynı dış manyetik alan altında sıcaklık değeri arttıkça numunenin manyetik alana bağlı direncindeki artış miktarı azalmaktadır.

Aynı sıcaklık değeri için manyetik alanın artması ile numunenin manyetik alana bağlı direncindeki azalma miktarı artmaktadır

## SONUÇ

İnce film teknolojisi, kolay uygulanmasından ötürü son dönemlerde giderek yaygınlaşmıştır. Ayrıca tüm yapıyı kompozit üretmekten daha ucuza mal olmaktadır. İnce film teknolojisi ile malzeme tüketimi daha az olduğundan, yüksek teknolojik malzemelerin üretiminde daha çevreci çözümler sunmaktadır [6].

Ferromanyetik malzemeler gibi Permalloy ( $Ni_{81}Fe_{19}$ ) katmanlı yapılarda, yüksek değerde alan duyarlılığına sahip olmaları nedeniyle teknolojik açıdan en iyi adaylar arasındadır. Permalloy katmanlı yapıların düşük koersivite ( $H_c$ ) ve düşük doyum alanına ( $H_s$ ) sahip olmaları karakteristik özellikleridir [8,9].

Bu tez çalışmasında, yüksek manyetik geçirgenlik özelliğine sahip 9 nm kalınlığında sıçratma ile biriktirme (Sputtering deposition) yöntemi ile  $SiO_2$  alttaşı üzerine büyütülen  $Ni_{81}Fe_{19}$  özel alaşımı ve bu filmin sıcaklık ve manyetik alana bağlı olarak özellikleri incelenmiştir. Van der Pauw metodunu kullanarak ölçüm yapan Lake Shore Hall Effect ölçüm cihazı ile yapılan ölçümler sonucunda;

- 1) Sabit sıcaklık altında numuneye dış manyetik alan uygulandığında direncinin azaldığı, taşıyıcı yoğunluğunun arttığı ve Hall mobilitesinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- 2) Sabit manyetik alan altında sıcaklık değeri arttırıldığında numunede yük taşıyıcı yoğunluğunun azaldığı, numune direncinin ve Hall mobilitesinin arttığı gözlemlenmiştir.
- 3) Aynı sıcaklık değerinde numune direnci manyetik alan altında ve manyetik alan yok iken ölçülmüş ve manyetik alan altında iken direncin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu da manyetik alanın direnci azaltıcı etkisini göstermiştir.
- 4) Farklı sıcaklık değerlerinde farklı değerlerde dış manyetik alanlar uygulanarak numunenin direnci ölçülmüştür. Sıcaklık değeri arttıkça aynı manyetik alan şiddeti için numune direncin arttığı, artış miktarının azaldığı görülmüştür.
- 5) Aynı sıcaklık değerinde manyetik alan şiddeti arttıkça (doyum mıknatıslanma değerine kadar) numune direncinin azaldığı, azalma miktarının arttığı tespit edilmiştir.
- 6) Sensör yapımında kullanılan bu malzemelerin manyetik alana ve sıcaklığa duyarlı olduğu görülmektedir.
- 7) Son olarak manyetorezistans özelliğine dayalı sensör tasarımı yapmak hedeflenmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Perednis, D., Gauckler, D.J., Thin Film Deposition Using Spray Pyrolysis Journal of Electroceramics, 14, 103–111, 2005
- [2] S. A. Solin, T. Thio, D. R. Hines, and J. J. Heremans, Science 289, 1530 (2000)
- [3] <https://www.fhr.biz/en/thin-film-technology/>
- [4] Taborda, J.A.P., Coatings and Thin-Film Technologies Instituto de Microelectrónica de Madrid, Spain
- [5] Taner, A., Sılar Yöntemi ile ZnO Yarıiletken Filminin Elde Edilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2010.
- [6] Karbay, İ.H.C., Nanokompozit İnce Filmlerin Sentezi Ve Mekanik Özelliklerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2014.
- [7] Barabasi, A.L., Stanley, H.E., Fractal Concepts in Surface Growth, Cambridge University Press, New York, 1995
- [8] Attenborough K., et al., Magn. Magn. Mater., (1995), 148, 335
- [9] Ene C. B., Schmitz G., Kirchheim R., Hütten A., Acta Materialia, (2005), 53 3383
- [10] Bilgin, V., ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi.
- [11] Sönmezoğlu, Savaş., Koç, M., Akın, S., Dergi Park, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi Arşiv Cilt 28, Sayı 5
- [12] Zor, M., Spray-Pyrolysis ile Elde Edilen AgInS<sub>2</sub> Bileşiğinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Doçentlik Tezi, Ankara, 1982
- [13] Horzum, Ş., Kimyasal Olarak Kaplanmış CuO<sub>2</sub> İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2005
- [14] Eckertova, L., Physics of Thin Films, s. 340, Plenum Press, New York and London, 1986.
- [15] Uslu, İ., Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya ABD. [https://www.academia.edu/2349635/%C4%B0nce\\_film\\_kaplama\\_sunumu\\_1.\\_bir\\_haftal%C4%B1k\\_s%C3%BCreli](https://www.academia.edu/2349635/%C4%B0nce_film_kaplama_sunumu_1._bir_haftal%C4%B1k_s%C3%BCreli)



- [16] Wasa, K., Hayakawa, S., in Handbook of Sputtering Technology Principles, Technology and Applications (Second Edition), 2012
- [17] Aytaç, A., Malayoğlu U., Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması ve DVD Kaplama Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamaları Üzerine Kavramsal, Akademik ve Teorik Bir Analiz, The Journal of Defense Sciences Mayıs/May 2018, Cilt/Volume 17, Sayı/Issue 1.
- [18] <http://www.ionbond.com/technology/pvd/>
- [19] Türküz, C., Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanımı Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1997
- [20] Oktay, G., Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Yöntemi, Galvanoteknik, 2006.
- [21] Kuzmichev, A., Tsybulsky, L., Evaporators with Induction Heating and Their Applications, National Technical University “Kiev Polytechnical Institute” Ukraine
- [22] Sanders, D. M., Anders A., Review of cathodic arc deposition technology at the start of the new millennium, Surface and Coatings Technology, 133-134, 78-90, 2000.
- [23] Lindfords, P.A., Mularie, W.M., Wehner, G.K., 1986. Cathodic arc deposition technology, Surface and Coatings Technology, 29, 275-290
- [24] Mack, M., Surface Technology, Verlag Moderne Industrie, Germany, 1990.
- [25] Samtaş, G., Sert, H. Doğrudan buhar biriktirme tekniği (DVD). SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 2 (4):30-40, 2012.
- [26] Smallman, R.E., Ngan, A.H.W., Physical Metallurgy and Advanced Materials, Seventh Edition, s. 672, Butterworth Heinemann, 2007
- [27] Sönmezoğlu, S., Koç, M., İnce film üretim teknikleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Selçuk Üniversitesi, Konya
- [28] Bunshah, Rointan F., Handbook of Hard Coatings, Deposition Technologies, Properties and Applications, Noyes Publications /William Andrew Publishing, LLC., U.S.A. 2001.
- [29] Singh, J., Wolfe, J.D.E., Nano and macro-structured component fabrication by electron beam-physical vapor deposition (EB-PVD), Journal Of Materials Science 40 1 – 26 Review, 2005
- [30] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron-beam\\_physical\\_vapor\\_deposition](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron-beam_physical_vapor_deposition)

- [31] [http://maltielconsulting.com/deposition\\_Oxidation\\_CVD\\_Electrodeposition\\_Epitaxy.html](http://maltielconsulting.com/deposition_Oxidation_CVD_Electrodeposition_Epitaxy.html)
- [32] Shah, I., Handbook of Thin Film Process Technology Glocker Isoflux Inc., NY, USA, E I du Pont de Nemours & Co., Wilmington, DE, USA
- [33] Rointan, F., Handbook of Hard Coatings, Deposition Technologies, Properties and Applications, Noyes Publications /William Andrew Publishing, LLC., U.S.A. 2001.
- [34] Kiyotaka W., Shigeru H., Handbook of Sputter Deposition Technology, Hardcover, 1992.
- [35] Mattox D. M., Physical vapor deposition (PVD) processes, Metal Finishing, 99, 409-423, 2001.
- [36] Cansever, N., 2001. Manyetik alanda sıçratma yönteminde son gelişmeler, Mühendis ve Makine, Mayıs.496,2001
- [37] Yang Y., Yang J., Thin Film Process, Campbell, Ch 12, 13, 14 <http://www-yjy.me.ntu.edu.tw/mems/download/6.pdf>
- [38] Depla, D., & Mahieu, S. (Eds.). Reactive Sputter Deposition. Springer Series in Materials Science, 2008.
- [39] Arnell, R.D., Kelly, P.J., Recent Developments in Magnetron Sputtering Systems, Advances in Surface Engineering, Vol.II: Process Technology, Edited by: P.K.Datta, J.S. Burnell-Gray, 4th International Conference on Advances in Surface Engineering, 14-17th May 1996, 19-30, 1997
- [40] ASM Handbook, Friction, Lubrication, Coatings and Surface Treatments, PVD and CVD Coatings, pp.840-849, 18, ASM International-USA,1992
- [41] Depha, D., Mahieu, S., Greene, J.E., Sputter Deposition Processes,
- [42] Wiley, J & Sons,Chapman, B., Glow Discharge Processes, 1980
- [43] Parsons, R., in Thin Film Processes II, J.L. Vossen and W. Kern, eds., (Academic Press, New York, 1991).
- [44] T.C. Tisone and J.B. Bindell, J. Vac. Sci. Technol., 11(2), p519, 1974.
- [45] D. Hajzak, J. Vac. Sci. Technol. 7(1), p224, 1970
- [46] [https://www.svc.org/DigitalLibrary/documents/2010\\_Spring\\_MMWaite\\_SIS Shah\\_DAGlocker\\_p42-50.pdf](https://www.svc.org/DigitalLibrary/documents/2010_Spring_MMWaite_SIS Shah_DAGlocker_p42-50.pdf)
- [47] George, J., Preparation of Thin Films, Marcel Dekker, Inc., New York, 1992

- [48] Gümüş, H., “Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As/GaAs (100) Nanoyapısının Büyütülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara 30-41, 2000.
- [49] Singh, J., “Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures”, University of Michigan, Ann Arbor, New York, 3-5, 2000.
- [50] Arbor, A., Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures Jasprit Singh, University of Michigan
- [51] Kınacı, B., In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As / GaAs Çoklu Kuantum Kuyu Yapısının Mbe Tekniği İle Büyütülmesi: Yapısal, Optik Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009
- [52] Sherman, A., Chemical Vapor Deposition For Microelectronics Principle, Technology, and Application S.1
- [53] Xiu-Tian, Y., Yongdong. X., Chemical Vapour Deposition: An Integrated Engineering Design for Advanced Materials, s.341, Springer, 2010
- [54] Ekinci, H., Metal-organik Kimyasal Buharlaştırma Yöntemi ile Kristal Büyütme (MOCVD) Sisteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2008
- [55] Zhang, Q.,- Sando, D.,- Valanoor, N., Chemical Route derived Bismuth Ferrite Thin films and Nanomaterials [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-chemical-vapor-deposition-CVD-system\\_fig1\\_299501935](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-chemical-vapor-deposition-CVD-system_fig1_299501935)
- [56] Mitzi, D.B., et al “High mobility ultrathin semiconducting films prepared by spin coating”, Nature, 428, 299-303, 2004.
- [57] Lawrence, C.J., Zhou, W., Spin coating of non-Newtonian fluids
- [58] Hellstrom, S.L., Published course work for physics 210, Stanford University, Autumn 2007.
- [59] <http://www.katihai.sakarya.edu.tr/kutuphane/incefilm.htm>
- [60] [https://www.academia.edu/2349635/%C4%B0nce\\_film\\_kaplama\\_sunumu\\_1.\\_bir\\_hafta%C4%B1k\\_s%C3%BCreli](https://www.academia.edu/2349635/%C4%B0nce_film_kaplama_sunumu_1._bir_hafta%C4%B1k_s%C3%BCreli)
- [61] Jakubovıks, J.P., Çeviren Şahingöz, R., Bağcı, C., Manyetizma ve Manyetik Malzemeler.
- [62] <https://rasyonalist.org/yazi/spin-nedir/>
- [63] <https://home.cern/news/news/physics/explain-it-60-seconds-spin>
- [64] [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Quantum\\_spin\\_and\\_the\\_Stern-Gerlach\\_experiment.ogv](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Quantum_spin_and_the_Stern-Gerlach_experiment.ogv)

- [65] Serway, R. A., Beichner, R. J., Fen ve Mühendislik İçin Fizik 2, (Elektrik ve Manyetizma-Işık ve Optik), North Carolina State Üniversitesi, Çeviren Çolakoğlu, K., Ankara, 2009.
- [66] Griffiths, D. J., Elektromagnetik Teori, (Üçüncü Baskıdan Çeviri: Prof. Dr. Basri Ünal), Ankara: Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., 2005.
- [67] Karaağaç Ö., CoCu Alaşım Filmlerin Elektrodepozisyonu, Yapısal ve Manyetik Özellikleri Üzerine Depozisyon Parametrelerinin Etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2007.
- [68] Naz, M., Elektrodepozisyon Tekniğiyle Üretilen Ni, NiCu Alaşım ve Ni/Cu Süperörgü Filmlerde Manyetik Direncin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 1996.
- [69] Özergin, E., Elektrodepozisyon Tekniği ile Büyütülen CoFeCu Filmlerin Yapısal, Manyetik ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Üniversitesi, 2008
- [70] Kittel C., Katıhal Fizikine Giriş, İngilizce 6. Baskıdan çeviri, (Türkçesi: Karaoğlu B.), İstanbul: Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd. Şti., (1996)
- [71] Kuru, H., Elektrodepozisyonla Sentezlenen NiFe Alaşım ve NiFeCu/Cu Süperörgülerin Yapısal ve Magnetotransport Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2009
- [72] Jiles, D., Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman and Hall, London, 1996
- [73] Şafak Hacimoğlu, M., Co/Cu Süperörgülerin Elektrokimyasal olarak Üretilmesi ve Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, 2010
- [74] Johnson, M. T., Bloemen, P. J. H., Broeder, F. J. A. den, & Vries Magnetic anisotropy in metallic multilayers., J. J. de.. Reports on Progress in Physics, 59(11), 1409–1458. doi:10.1088/0034-4885/59/11/002, 1996.
- [75] Eşiyok, M., “FeCl/Cu Süperörgülerin DC Püskürtme Metoduyla Hazırlanması, Manyetik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2014.
- [76] K. Honda and S.Kaya, “On the Magnetisation of Single Crystals Of Iron” Sci. Rep. Thoku Univ.,15, 721, 1926 and S.Kaya “On the Magnetisation of Single Crystals Of Nickel” Sci. Rep. Thoku Univ.,17, 639, 1928
- [77] Orton, J., The Story of Semiconductors, Emeritus Professor, University of Nottingham, UK

- [78] Ghibaudo, G., & Rafhay, Q., Electron and Hole Mobility in Semiconductor Devices. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 1–13, 2014
- [79] H. Sarı, <http://80.251.40.59/eng.ankara.edu.tr/hsari/bolum-11-yariiletkenler-1.pdf>
- [80] Raşit Aydın “Sensör Teknolojisi İçin Yeni ve İleri Malzemeler Üzerine Bir Araştırma” Selçuk Üniversitesi, 2005
- [81] <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/neden-sicaklik-arttikca-elektriksel-iletkenlik-azalir>
- [82] Chowdhury, P., Development of magnetoresistive thin film sensor for magnetic field sensing applications, Surface Engineering Division, National Aerospace Laboratories, Bengaluru-560017
- [83] Guo, Z.B., et al., Solid Stat. Com. , 105, 89-92, 1998.
- [84] Magnetoresistance Overview Janice Nickel Computer Peripherals Laboratory HPL-95-60 June, HEWLETT PACKARD 1995
- [85] <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTWFnbmV0b3Jlc2lzdGFuY2U>
- [86] McGuire, T.R., Potter, I.R., Anisotropic Magnetoresistance in ferromagnetic 3-D alloys', IEEE, Trans. Magn., 11, 4, 1975.
- [87] Kools J.C.S., et al., Anisotropic and Giant Magnetoresistive Elements, Philips J. Res., 51, 125-148, 1998.
- [88] Gunnarsson, R., “Some aspects on interfaces in perovskite manganites”, Göteborg University, Göteborg, Sweden, 2002.
- [89] Tsymbal E.Y., Pettifor D.G., “Perspectives of Giant Magnetoresistance”, Solid State Physics, Edited by H. Ehrenreich, F. Spaepen, Academic Press, 56, 113-237, 2001.
- [90] McGuire, T. R., Potter, R. I., “Anisotropic Magnetoresistance in Ferromagnetic 3d Alloys”, Transactions On Magnetism, Vol. Mag-11, No. 4, July 1975
- [91] Yao C.C., et al., Hall Effect and Anisotropic Magnetoresistance in a Micronscale Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> Device, IEEE Transactions On Magnetism, 35, 1999.
- [92] Checkelsky, J., Anisotropic Magnetoresistance of Fe<sub>x</sub>Co<sub>1-x</sub>S<sub>2</sub>, Thesis, Harvey Mudd College, 2004
- [93] B.Morten, M.Prudenziati, and G.De Cicco., Magnetoresistive Thick Film Sensors M.Prudenziati Ed. New York Elsevier, 229, 1994.

- [94] Wei Han, Magnetoresistance, Pekin University, Lab for Spintronik and Emergent Materials.
- [95] M.N.Baibich, et al., Phys.Rev.Lett. 61, 2472, 1988
- [96] G.Binash, P.Grünberg, F.Saurenbach, and W.Zinn, Phys.Rev.B 39, 4828 (1989)
- [97] M. Djamal., et al., Effect of Cu Layer Thickness on Giant Magnetoresistance Properties of NiCoFe/Cu/NiCoFe Sandwich, Fukuoka, Japan, August, 365-368, 2009.
- [98] S.S.P.Parkin, N.More, and K.P.Roche, Phys.Rev.Lett. 64, 2304 (1990)
- [99] J.Barnas, A.Fuss, R.E.Camley, P.Grünberg, and W.Zinn, Phys.8Rev.B 42, 8110 (1990).
- [100] T.Shinjo and H.Yamamoto, J.Phys.Soc. Japan 59, 3061 (1990).
- [101] A.Chaiken, P.Lubitz, J.J.Krebs, G.A.Prinz, and M.Z.Harford, Appl.Phys.Lett. 59, 240 (1991)
- [102] R Hiskes et Ol., presented at the CMR. Workshop, Feb. 9-10, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM.
- [103] <http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvVHVubmVsX21hZ25ldG9yZlNpc3RhbmNlI2NpdGVfcmVmLTE>
- [104] V.Pauw, “A Methhod of Measuring The Resistivity And Hall Coefficient On Lamellae fo Arbitrary Shape”, Philips Technical Review, 621.317.331:538.632.083
- [105] Karpuz.A, “Elektrodepozisyonla Büyütülen Ni-Co Filmlerin Karakterizasyonu ve Manyetorezistans Davranışının İncelenmesi” Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2011.
- [106] Erdoğan, N.H.,” P-Tipi Çinkooksit(Zno)Yarıiletken İnce Filminin Atmalı Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi İle Elde Edilmesi Ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2010

## ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Mersin’de doğan Ahmet KAYA, ilk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Çeltikçi Köyü İlkokulu, Silifke Atatürk Orta Okulu ve Silifke Endüstri Meslek Lisesinde tamamlamıştır. 1995 yılında kazandığı Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümünü 1999 yılında başarı ile bitirmiştir. 1999 yılından beri Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde Teknik Öğretmen olarak görev yapmakta olan Ahmet KAYA evli ve iki çocuk babasıdır.

### İletişim Bilgileri

Adres: Yenidoğan mah. Yaprak cad. Ihlamur sitesi  
C blok kat:11 No:23 Talas/KAYSERİ

Telefon: (532) 5816942

Faks: (352) 3207180

E-posta: ahmetalikaya@hotmail.com