

KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ İNCE FİLMLEİN MANYETİK VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE
ALTIN ALT TABAKA ETKİSİ**

SİNAN DİKEN

DANIŞMAN: DOÇ. DR. ŞÜKRÜ ÇAKMAKTEPE

YÜKSEK LİSANS TEZİ




FİZİK ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2013

KİLİS

TEZ ONAYI

Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE danışmalığında, Sinan DİKEN tarafından hazırlanan “Co₉₀Fe₁₀ İnce Filmlerin Manyetik ve Yapısal Özelliklerine Altın Alt Tabaka Etkisi” adlı tez çalışması 08.07.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE, Kilis 7 Aralık Üni.	
Üye	Doç. Dr. Murat ODUNCUOĞLU, Kilis 7 Aralık Üni.	
Üye	Doç. Dr. Osman ŞAHİN, Mustafa Kemal Üni.	

Bu tezin kabulü, Fen bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2013 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Co₉₀Fe₁₀ İNCE FİLMLERİN MANYETİK VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNE ALTIN ALT TABAKA ETKİSİ

Sinan DİKEN

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE

Yıl: 2013

Sayfa: 52

Bu tez çalışmasında iki konu araştırılmıştır; öncelikle 40 nm kalınlıkta nano yapıya sahip kobalt demir (Co₉₀Fe₁₀) manyetik ince filmler doğru akım (DC) manyetik alanda sıçratma tekniği ile 6, 10, 20 ve 30 nm kalınlıkta altın (Au) alt tabakalar üzerine depolanmıştır. İkinci olarak; farklı kalınlıklara sahip bu alt tabakaların Co₉₀Fe₁₀ ince filmler üzerine etkileri incelenmiştir. Manyeto-Optik Kerr etkisi (MOKE) ölçüm sistemi, Manyetik Kuvvet Mikroskobu (MFM), Sıyırma Açısında X-Işını Kırınımı (GI-XRD) ve 4-Nokta Prob (4PP) teknikleri kullanılarak sırasıyla numunelere ait histeresiz döngüleri, domein yapıları, kristal yapıları, manyetik ve bazı elektriksel özellikleri elde edilmiştir. MOKE analizi alt tabaka kalınlığı değiştikçe koersivitenin 4,6 Oe değerine kadar düştüğünü göstermiştir. MFM ölçümleri filmlerin domein yapısının değiştiğini fakat ferromanyetik yapıda olduğunu göstermiştir. GI-XRD sonuçları ise filmlerin kristal yapısı, tanecik boyutu ve kırınım piklerinin de alt tabaka kalınlığından etkilendiğini göstermiştir. 4PP sonuçları ise yüzey dirençlerinin film kalınlığına göre değiştiğini ortaya koymuştur. CoFe manyetik ince filmlerin manyetik, yapısal ve bazı elektriksel özelliklerinin Au alt tabaka kalınlığına güçlü bir şekilde bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CoFe/Au, manyetik ince film, altlık etkisi

ABSTRACT

MSc. Thesis

EFFECT of Au UNDERLAYER ON STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF Co₉₀Fe₁₀ THIN FILMS

Sinan DİKEN

Kilis 7 Aralık University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE

Year: 2013

Page: 54

In this thesis, two main topics were researched; firstly, nano structured cobalt iron (Co₉₀Fe₁₀) thin films with 40 nm thickness were deposited on 6, 10, 20 and 30 nm gold (Au) underlayers by DC magnetron sputtering technique. Secondly, the effects of different Au underlayer thickness on the thin films were investigated. Magneto-Optical Kerr effect (MOKE), Magnetic Force Microscope (MFM), Grazing Incidence X-Ray Diffraction and 4-Point Probe techniques are used to obtain hysteresis loops, domain structure, crystal structure, magnetic and some electrical properties of the films, respectively. MOKE analysis shows that as the thickness of underlayer changes, coercivity decreases towards 4,6 Oe. MFM images of the films show ferromagnetic character although changes in domain structure. GI-XRD results indicate that crystal structure, crystal size and the diffraction peaks of the films are also affected due to the underlayer thickness. 4PP results of magnetic films reveals changes in sheet resistance. It is determined that magnetic, structural and certain electrical properties of CoFe strongly depend on Au underlayer thickness.

Key Words: CoFe/Au, magnetic thin films, underlayer effect

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, malzeme teminininde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Sinan DİKEN

Kilis, Temmuz 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	5
2.1. Manyetizmanın Temelleri	5
2.2. Manyetik Malzeme Grupları	6
2.2.1. Diyamanyetizma	8
2.2.2. Paramanyetizma	8
2.2.3. Ferromanyetizma.....	10
2.2.3.1. Domein bölgeleri.....	10
2.2.3.2. Curie sıcaklığı	12
2.2.3.3. Histeresiz döngüleri	12
2.2.4. Antiferromanyetizma	14
2.2.5. Ferrimanyetizma	14
2.2.6. Süperparamanyetizma	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Doğru Akım (DC) Manyetik Alanda Sıçratma Tekniği.....	16
3.2. Manyeto-Optik Kerr Etkisi (MOKE) ve Manyetometresi	19
3.3. Manyetik Kuvvet Mikroskopu (MFM)	21
3.4. X-Işını Kırınımı (XRD).....	23
3.5. Elektriksel Özelliklerin Ölçümü	26
3.6. İnce Filmlerin Depolanması	29
3.6.1. Ön işlemler	29

3.6.2. 40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀ ince filminin depolanması	29
3.6.3. 6-10-20-30 nm Au alt tabakalara sahip Co ₉₀ Fe ₁₀ ince filmlerin depolanması	29
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1 Manyetizasyon Ölçümleri	31
4.2 MFM Görüntüleri.....	34
4.3 GI-XRD Spektrumları.....	38
4.4 4PP Ölçümleri	41
5. SONUÇLAR	44
6. KAYNAKLAR	46

SİMGELER ve KISALTMALAR

1. Simgeler

Å	: Angström
P	: Basınç
B	: Manyetik alan şiddeti
H _c	: Koersivite
λ	: Dalgaboyu
M	: Manyetizasyon
m	: Kütle
χ	: Manyetik alınganlık
°C	: Santigrat derece
~	: Yaklaşık

2. Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
MFM	: Manyetik kuvvet mikroskobu
MOKE	: Manyeto-Optik Kerr olayı manyetometresi
VSM	: Titreşimli örnek manyetometresi
XRD	: X-Işını kırınımı
JCPDS	: Joint Committee on Powder Diffraction Standards
yy	: Yüzyıl
sn	: Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektronların çekirdek etrafındaki spin ve yörüngeleri	7
Şekil 2.2. Diyamanyetik ve paramanyetik malzemelerin manyetik davranışları.....	9
Şekil 2.3. Dışarıdan uygulanan manyetik alan sonucunda ferromanyetik malzemelerin sahip olduğu manyetik momentlerin davranışları	10
Şekil 2.4. Malzeme yapısındaki 180° farklı yönelimlere sahip domain bölgelerinin yapısı	11
Şekil 2.5. Ferromanyetik bir numuneye ait malzemenin histeresiz döngüsü.....	12
Şekil 2.6. Farklı iki alt örgüye sahip antiferromanyetin yapısı	14
Şekil 3.1. Sıçratma teknikleri	16
Şekil 3.2. Sıçratma düzeneği.....	18
Şekil 3.3. MOKE sisteminin şematik gösterimi; Z-Lazer, P-Kutuplayıcı, Hp-Hall probu, W-Wollaston prizması, L-Lensler, A-Ayrımsal yükselteç, H-Helmholtz bobinleri	20
Şekil 3.4. Bir kalibrasyon numunesinden alınan (a) AFM (b) MFM görüntüleri	22
Şekil 3.5. Kristal malzeme içerisindeki atom katmanları tarafından kırılan X-ışınları ..	24
Şekil 3.6. GI-XRD ölçümünün şematik gösterimi	25
Şekil 3.7. İletken ve t kalınlıklı bir ince filmin öz direncinin 4PP ile ölçülmesi	27
Şekil 3.8. Gelişigüzel bir şekle sahip numunenin öz direncinin Van der Pauw metodu ile ölçülmesi	28
Şekil 3.9. Genel Van der Pauw yapıları: A) Kare B) Artı C) Yaprak.....	29
Şekil 4.1. CoFe(40nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi.....	31
Şekil 4.2. CoFe(40nm)/Au(6nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi.....	32
Şekil 4.3. CoFe(40nm)/Au(10nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi.....	32
Şekil 4.4. CoFe(40nm)/Au(20nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi.....	33
Şekil 4.5. CoFe(40nm)/Au(30nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi.....	33
Şekil 4.6. CoFe(40nm) filme ait üç boyutlu (a) ve yüzeysel (b) MFM görüntüleri.....	34

Şekil 4.7. CoFe(40nm)/Au(6nm) filme ait üç boyutlu (a) ve yüzeysel (b) MFM görüntüleri	35
Şekil 4.8. CoFe(40nm)/Au(10nm) filme ait yüzeysel MFM görüntüsü	36
Şekil 4.9. CoFe(40nm)/Au(20nm) filme ait yüzeysel MFM görüntüsü	37
Şekil 4.10. CoFe(40nm)/Au(30nm) filme ait yüzeysel MFM görüntüsü	38
Şekil 4.11. CoFe(40nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi	39
Şekil 4.12. CoFe(40nm)/Au(6nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi	39
Şekil 4.13. CoFe(40nm)/Au(10nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi	40
Şekil 4.14. CoFe(40nm)/Au(20nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi	40
Şekil 4.15. CoFe(40nm)/Au(30nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi	41
Şekil 4.16. Farklı kalınlıklarda Au alt tabakalara sahip CoFe manyetik ince filmlerin gerilim-akım grafiği	42
Şekil 4.17. Farklı kalınlıklarda Au alt tabakalara sahip CoFe manyetik ince filmlerin kalınlık-özdireç grafiği	43

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. ATC 2200 altı hedefli AJA sıçratma cihazı.....	17
Resim 3.2. Kullanılan MOKE cihazı	20
Resim 3.3. MFM cihazının uç yapısı	22
Resim 3.4. AFM (MFM) cihazı ve bilgisayar ünitesi	23
Resim 3.5. Rigaku Ultima IV XRD cihazı.....	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı (a) paramanyetik (b) diyamanyetik maddelerin 300K'deki alınganlık değerleri.....	9
Çizelge 2.2. Bazı ferromanyetik maddelerin Curie sıcaklıkları.....	12
Çizelge 3.1. Sıçratma parametreleri	30
Çizelge 4.1. CoFe yapısındaki (110) düzlemi için hesaplanan tanecik boyutları	41
Çizelge 4.2. Malzemelerin öz direnç değerleri	42

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz iki yüzyıl boyunca insanoğlu endüstri ve enformasyon devrimi olmak üzere iki büyük sanayi devrimi gerçekleştirmiştir. 1800'li yıllarda tekstil ile başlayan endüstri devrimini demiryolu ve otomotiv endüstrisi izlemiştir. 1900'lere gelindiğinde ise artık bilgisayar hayatımıza girmiş ve enformasyon devrimi başlamıştır. Günümüzde hala doğuş aşamasında olan nanoteknolojinin gelişimi ise enformasyon devrimini çok daha ilerilere taşımaya adaydır. Nanobilim ve nanoteknolojinin önemini kavrayan pek çok bilim insanı ve ekonomist ülkelerinin yakın gelecekte bu alanda gerçekleşebilecek devrimlere ev sahipliği yapması ve bunun sonucu olarak da söz sahibi bir ülke konumuna yükselmesi için yapılması gereken yatırımlara dikkat çekmektedir.

Nanoteknoloji, kir tutmayan kumaşlardan kanser tedavisine, özel savunma sistemlerinden inşaat sektörüne kadar pek çok alanda hayatımıza girmiştir. Peki, bu kadar öneme sahip olan nanoteknoloji kelime olarak ne anlama gelmektedir? "Nano" kelimesi kökeni itibarı ile Yunanca olup "Cüce" anlamına gelmektedir. Nanometre bir metrenin milyarda birini, nanoparçacık genellikle çapı 100 nm'den daha küçük parçacıkları, nanoteknoloji ise nanoparçacıkların üretimi, araştırılması ve bunlardan faydalanmayı ifade eder. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla çok kullanılan saç teli örneği verilebilir. Bir insan saç teli yaklaşık olarak 80,000 nm kalınlığındadır.

Nanoteknolojinin temel bilim ve kuramsal çalışmalara olan ihtiyacı bilinen diğer teknolojilere göre çok daha fazladır. İnce filmlerin üretimi ve teknolojik alanlarda kullanımı nanobilim ve nanoteknolojinin önemli çalışma alanlarından birisini oluşturarak söz konusu ihtiyacı karşılama amacına hizmet etmektedir. Bu amaca ulaşabilmek için ise öncelikle sentez ve karakterizasyon adımlarının atılması gerekmektedir. Bilindiği gibi ince filmler iki boyutta sınırlandırılmışlardır ve bu özelliğinden dolayı da yapısal, manyetik, elektriksel özellikler gibi hacimli yapılardan farklılık gösteren pek çok fenomene sahiptirler. Örneğin karbon atomlarından oluşan elmas kristali yalıtkan özellik gösterirken tek boyuta sahip yine karbon atomlarından oluşan karbon atom zinciri altın ve gümüş atom zincirlerinden daha iyi iletkenlik gösterebilmektedir.

İnce film teknolojisi dünyanın dört bir yanından bilim insanlarının çalışmaları sayesinde gün geçtikçe gelişerek 21.yy teknolojisinde önemli, stratejik bir konuma gelmiştir. Bu

teknoloji sayesinde sentez ve karakterizasyon adımlarının bir sonraki aşamaları olan nanoboyutta yeni malzemeler veya yapay süperörgüler geliştirilebilecektir. [1-5]

Manyetik ince filmler hem temel bilimsel bakış açısından hem de özellikle manyetik alan sensörleri ve bilgi depolama alanlarındaki yeni uygulamalarından dolayı gün geçtikçe ilgi çekmektedir. Manyetik ince filmler üzerinde yapılan ilk çalışmalar büyük oranda dijital bilgisayarlarda kullanılan hafıza ve kaydedici ortam uygulamalarına yöneliktir.

Manyetik ince filmlerin üretimi aşamasında pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Moleküler Demet Epitaksi (MBE), Elektrodepolama ve Sıçratma (Sputtering) bu yöntemler arasında yer almaktadır [6]. Sıçratma tekniği vakumlu bir teknik olup materyal ve yöntem kısmında ele alınacaktır.

Manyetik ince filmlerde alt tabaka seçimi, konsantrasyonu, çözelti sıcaklığı, depolanan filmlerin kalınlığı gibi etmenlerin filmlerin yapısal ve manyetik özelliklerinde değişikliklere yol açtığı literatürdeki pek çok çalışmada bildirilmiştir [2, 7-11]. Ayrıca literatürde çoğunlukla demir grubu metallere (Fe, Ni) veya onların alaşımlarından oluşan manyetik ince filmler yaygın olarak ele alınmıştır [12,13]. Fakat $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Au}$ üzerinde yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır [14-16].

Demir, M., yaptığı çalışmada $(\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10})_{20}\text{Ag}_{80}$ ince filmini incelemiş ve CoFe manyetik taneciklerinin ortalama boyutlarının film kalınlığı arttıkça arttığını 1,6-2,2 nm arasında değiştiğini göstermiştir [17]. Ganesh K. Rajan ve ark. ise bir dış manyetik alanın CoFe nanoyapıların morfolojik ve manyetik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Dış manyetik alan sayesinde nanoyapıların şekillerinin kontrol edilebileceğini ve buradan yola çıkarak da mıknatıslanmanın kolay eksen doğrultusunun kontrol edilebileceğini bildirmişlerdir [18]. Bir başka çalışmada ise elektrodepozisyon tekniği ile Ti alt tabaka üzerine farklı depozisyon parametreleri altında büyütülen CoFeCu filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri incelenmiştir. Söz konusu çalışmada artan depozisyon potansiyeli ile birlikte manyetizasyonun arttığı ve koersivitenin azaldığı görülmüştür [7].

S.S Bellad ve C.H. Bhosale püskürtme tekniği ile üretilen CoFe_2O_4 ferrit ince filmlerin altta sıcaklığına bağlı olarak iletkenliklerinde değişiklikler gözlemlendiğini bildirmişlerdir [19]. Jae-Gwang Lee ve ark. ise sol-jel metodu ile üretilen toz halindeki CoFe_2O_4 'nin

tavlama sıcaklığının bir fonksiyonu olarak kristalografik ve manyetik özelliklerini incelemişlerdir. Miknatıslanmanın artan tavlama sıcaklığı ile arttığını fakat 400 °C'den daha sıcak değerlerde koersivite değerinin düştüğünü göstermişlerdir [20].

Yanbo li ve ark. Fe₆₅Co₃₅ ince filmleri farklı alt tabakalar (Co₉₃Fe₇, Ni₈₀Fe₂₀, Cu ve Fe) üzerine sıçratma metodu ile depolamışlardır. Filmlerin kristal yapılarının altlık etkisiyle (110)'dan (200)'a değiştiğini göstermişler ve numunelerin yumuşak miknatıslık özelliklerinde iyileştirmeler elde etmişlerdir [21].

Lin, C.H. ve ark. Si (100) üzerine depolanmış Co ve CoFe filmlerin manyetik özelliklerini ve yapılarını incelemişlerdir. Film kalınlığı arttıkça farklı boyutlarda Co ve CoFe kümelenmeleri gözlemlenmiştir. Co ve CoFe üst tabakaların depolanması sonucunda boyuna koersiv kuvvetin değişiminin yüzey sertliğine benzer bir eğilim gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca yüksek depolama oranında yaklaşık 100 nm sınır uzunluğuna sahip üçgen biçimli Co adacıklarının gözlemlendiğini bildirmişlerdir [22].

Nguyen Duy Ha ve ark. değişen kısmi oksijen basıncı $P_{O_2} = \% 0-13$ altında üretilen Co-Fe-Hf-O manyetik ince filmlerin yapıları, elektriksel ve manyetik özellikleri üzerine detaylı bir çalışma yapmışlardır. $P_{O_2} = \% 6-11,5$ aralığında üretilen numunelerde mükemmel manyetik yumuşaklık ve yüksek elektriksel direnç değerleri elde etmişlerdir. Oksijen kısmi basıncındaki ve/veya film kalınlığındaki değişimin nano yapıda ve manyetik özelliklerde önemli değişikliklere sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir [23].

James Y. Wang ve ark. samaryum kobalt (SmCo) ince filmlerin depolanması ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Alt tabakaların manyetik özelliklere etkisini anlayabilmek için Cr/SiO₂/Si, Cr/Si ve Si üzerine SmCo depolamışlardır. Cr alt tabakaya sahip filmlerin direkt olarak Si üzerine depolanmış filmlerden daha iyi manyetik özellikler gösterdiğini bildirmişlerdir. Altlık ve film arasındaki Cr alt tabakası sayesinde daha küçük tane boyutuna sahip ve yumuşak yüzeyli yoğun filmler elde etmişlerdir. Ayrıca filmlerin kristalitesinin de arttığını bildirmişlerdir [24].

Bir diğer çalışmada ise Y. Fu ve ark. Co alt tabakasının FeCo ince filmlerin mikro yapısı ve yumuşak manyetik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Co alt tabakası FeCo filmlerin kristal yönelimlerini (200)'dan (110)'a değiştirmiştir.

Ayrıca ortalama tanecik boyutunun ise ~ 74 nm'den $\sim 8,2$ nm değerine kadar düştüğünü bildirmişlerdir [25].

Bu çalışmada iki temel konu üzerine odaklanılmıştır; ilk adımda DC manyetik alanda sıçratma yöntemi kullanılarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ manyetik ince filmler farklı kalınlıklardaki Au alt tabakalar ile birlikte Si alıtış üzerine depolanmıştır. İkinci adımda ise farklı kalınlıklardaki Au alt tabakaların depolanan manyetik ince filmlerin manyetik, yapısal ve bazı elektriksel özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Manyetizmanın Temelleri

Manyetizmanın tarihi insanlığın bildiği ilk manyetik malzeme olan manyetit (Fe_3O_4) ile başlar. Tarihi tam olarak bilinmemekle birlikte demir ile etkileşimi milattan önce 2500'lere dayanmaktadır. Manyetit, eski Yunan tarihinde Magnesia olarak bilinen günümüzdeki adıyla Türkiye sınırları içerisindeki Manisa'da bolca bulunmaktaydı. Magnetit isminin de bu isim benzerliğinden dolayı verildiği bilinmektedir.

Doğada bulunan maddelerin manyetik özellikleri uzun yıllardır fizikçi, kimyacı hatta mühendis bilim adamlarının ilgisini çekmektedir. Son zamanlarda maddenin yapısı ve madde içerisinde gerçekleşen etkileşimler hakkında önemli bilgiler sunmaları itibarı ile bu manyetik özellikler üzerinde çokça durulmaktadır. Bu özellikler disiplinler arası niteliklere sahip oldukları için yalnız fizikçileri değil, aynı zamanda farklı disiplinler üzerine çalışan bilim adamları ve mühendisleri de ilgilendirmektedir. Manyetik malzemeler çekirdek tipi transformatörlerden bilgisayar belleklerine kadar oldukça geniş teknik uygulama alanlarına sahiptir [26].

Manyetizma ile ilgili ilk bilimsel çalışmada *On the Magnet* isimli kitabını 1600 yılında yayımlayan İngiliz William Gilbert (1540-1603) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma bir asırdan fazla bilim insanlarının dikkatini çekmemiştir. 1825'teki elektromıknatısın keşfine dek mıknatıslanmanın yalnızca sürtünme yolu ile yapılabildiği biliniyordu. 1820'de Hans Christian Oersted (1775-1851) muhteşem bir buluş yaparak elektrik akımının da aynı zamanda bir manyetik alan kaynağı olabileceğini göstermiştir. O zamandan günümüze kadar manyetik malzemeler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar dünyanın pek çok yerinde farklı laboratuvarlarda büyük bir ivme ile sürdürülmektedir [27].

Manyetizma kavramı genellikle malzeme içerisindeki elektrik yüklerinin hareketi ile ilgilidir. Bilindiği gibi maddenin yapıtaşı olan atomun çekirdeğinde proton ve nötronlar, çekirdeğin etrafında ise hareket halindeki elektronlar bulunur. Maddeye manyetik özellikleri kazandıran etkenler temel olarak atomun yapısındaki elektronların spin ve

orbital hareketlerine dayanır. Elektronlar negatif elektrik yükü taşır ve hareketine devam ettikçe manyetik alan üretir.

Bir manyetik alan (H) malzemeye etki ettiğinde malzemenin gösterdiği tepki manyetik indüksiyon (B) olarak adlandırılır. Mıknatıslanma (M), manyetik indüksiyon ve manyetik alan arasındaki bağıntılar Denklem 2.1.1 ve 2.1.2’de gösterilmiştir.

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2.1.1)$$

$$B = \mu H \quad (2.1.2)$$

Burada μ_0 boş uzayın, μ ise malzemenin geçirgenlik sabitidir. Geçirgenlik, malzemenin uygulanan manyetik alana karşı gösterdiği mıknatıslanmanın bir ölçüsüdür. Denklem 2.2.1’de $\mu_0 H$ yalnızca manyetik alan tarafından $\mu_0 M$ ise malzeme tarafından üretilen manyetik indüksiyon olduğu açıkça görülmektedir [28-31].

Malzemelerin manyetik özellikleri yalnızca mıknatıslanma veya manyetik indüksiyon ile değil aynı zamanda bu terimlerin uygulanan manyetik alanla nasıl değiştiğine de bağlıdır. Manyetik duygunluk bize bu değişim hakkında bilgi verir.

Malzemelerin manyetik özelliklerinin ayırt edilebilmesinde önemli bir yere sahip olan manyetik duygunluk (χ) mıknatıslanmanın manyetik alana oranıdır ve Denklem 2.1.3 ile gösterilir.

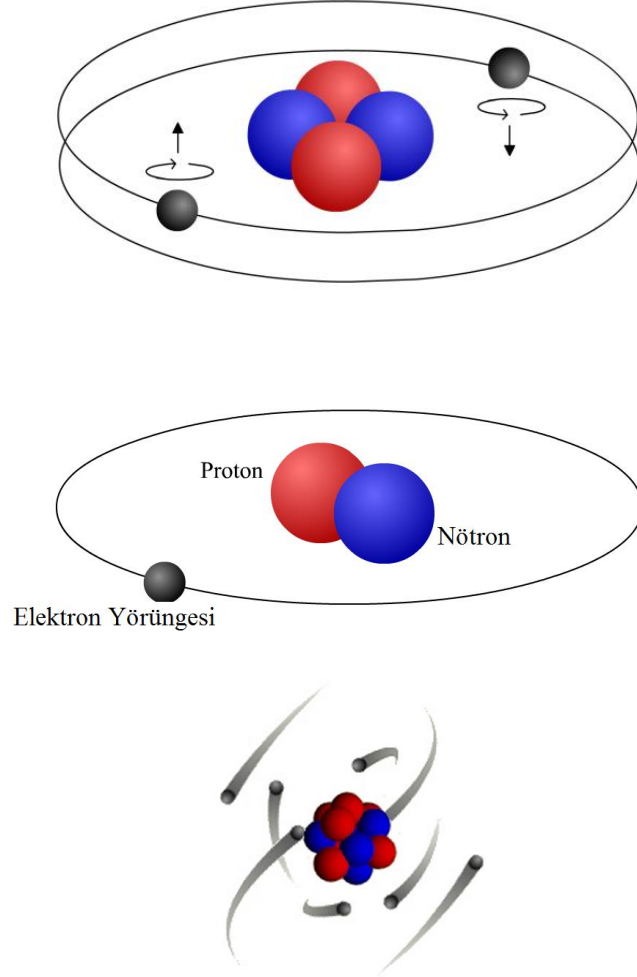
$$\chi = M/H \quad (2.1.3)$$

Mıknatıslanma eğrileri sayesinde manyetik malzemeleri farklı gruplara ayırarak kategorize edebiliriz.

2.2. Manyetik Malzeme Grupları

Madde içerisindeki yüklü parçacıkların hareketi manyetizmanın temel kaynağını oluşturur. Dolayısıyla doğadaki tüm malzemeler manyetik bir yapıya sahiptir. Elektronların spin ve yörüngesel hareketlerinden kaynaklanan manyetik momentler atomik düzeyde manyetizasyona sebebiyet verir. Elektronların spinleri zıt yönlüdür ve çiftlenmiş halde bulunurlar. Çiftlenmiş elektronlar söz konusu ise net manyetik

momentten bahsedemeyiz. Fakat çiftlenmemiş elektronlar net manyetik momente sahip olur ve dış manyetik alana maruz bırakıldıklarında tepki gösterirler. Şekil 2.1.'de elektronların çekirdek etrafındaki spin ve yörüngeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Elektronların çekirdek etrafındaki spin ve yörüngeleri [29,31]

Malzemelerin manyetik davranışlarını aşağıdaki gibi altı grupta inceleyebiliriz.

1. Diyamanyetizma
2. Paramanyetizma
3. Ferromanyetizma
4. Antiferromanyetizma
5. Ferrimanyetizma
6. Süperparamanyetizma

2.2.1. Diyamanyetizma

Sıfır net manyetik momente sahip atomlardan oluşmuş olmasına rağmen, uygulanan alana belirli bir şekilde tepki veren, manyetik alınganlıkları sıfırdan küçük olan malzemelere diyamanyetik malzeme denir.

Diyamanyetik etkinin klasik teorisi ilk defa Fransız bilim adamı Paul Langevin tarafından 1905 yılında yapılmıştır [31-33]. Söz konusu etki malzemeye bir alan uygulandığında yörüngesel hareketinde meydana gelen değişim ile ilgilidir. Bu duruma elektron kabukları dolu olan atomlar da dahil olmak üzere tüm atomlarda rastlanılır. Bazı malzemelerde diyamanyetizma kendisinden daha güçlü etkileşimler olan ferromanyetizma, paramanyetizma gibi etkilerin gölgesinde kalır.

Atomik yörüngelerindeki tüm kabuklar dolu olduğu için soygazların hepsi diyamanyetikdir. Ayrıca pek çok çift atomlu gaz da moleküler yörüngelerindeki tüm elektronlar net manyetik moment sıfır olacak şekilde çiftlendiği için diyamanyetikdir.

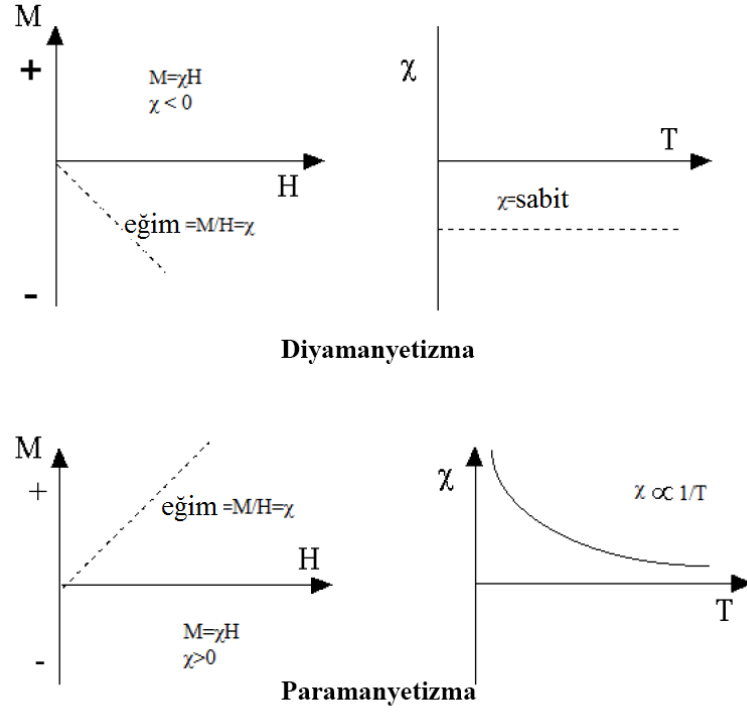
Bu malzemeler kalıcı bir manyetik momente sahip değildir. Bu yüzden de günlük hayatta geniş bir kullanım alanından söz edemeyiz [28].

2.2.2. Paramanyetizma

Paramanyetik malzemeler çiftlenmemiş elektronlara sahiptir. Manyetik alan uygulanmadığı durumda atomik momentler birbirini yok eder ve net bir mıknatıslanmadan bahsedemeyiz. Buna karşın paramanyetik malzemeye manyetik alan uygulandığı durumda atomik manyetik momentler manyetik alan doğrultusunda yönlenir ve malzemede mıknatıslanma meydana gelir.

Isıl dalgalanmalar atomik manyetik momentlerin rastgele dağılmasına sebebiyet vermektedir. Rastgele dağılan manyetik momentler söz konusu olduğunda ise duyunluk değerlerinde düşüşler meydana gelir. Sonuç olarak bu tür malzemelerde uygulanan manyetik alan yönünde az da olsa bir mıknatıslanma oluşur. Bu malzemelerde duyunluk küçük ve diyamanyetik malzemelerin tersine pozitif değerlere sahiptir [34, 35].

Şekil 2.2.'de yukarıda açıklanan diyamanyetik ve paramanyetik malzemelerin genel manyetik davranışları görünmektedir.



Şekil 2.2. Diyamanyetik ve paramanyetik malzemelerin manyetik davranışları [29, 34, 36]

Çizelge 2.1’de bazı diyamanyetik ve paramanyetik malzemelerin 300 K’deki duygunluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı (a) paramanyetik (b) diyamanyetik maddelerin 300K’deki alınganlık değerleri [32]

Paramanyetik Madde	Duygunluk (χ)	Diyamanyetik Madde	Duygunluk (χ)
Alüminyum	$2,3 \times 10^{-5}$	Bizmut	$-1,66 \times 10^{-5}$
Kalsiyum	$1,9 \times 10^{-5}$	Bakır	$-9,8 \times 10^{-6}$
Krom	$2,7 \times 10^{-4}$	Elmas	$-2,2 \times 10^{-5}$
Lityum	$2,1 \times 10^{-5}$	Altın	$-3,6 \times 10^{-5}$
Magnezyum	$1,2 \times 10^{-5}$	Kurşun	$-1,7 \times 10^{-5}$
Niyobyum	$2,6 \times 10^{-4}$	Civa	$-2,9 \times 10^{-5}$
Oksijen	$2,1 \times 10^{-6}$	Azot	-5×10^{-9}
Platin	$2,9 \times 10^{-4}$	Gümüş	$-2,6 \times 10^{-5}$
Tungsten	$6,8 \times 10^{-5}$	Silisyum	$-4,2 \times 10^{-6}$

(a)

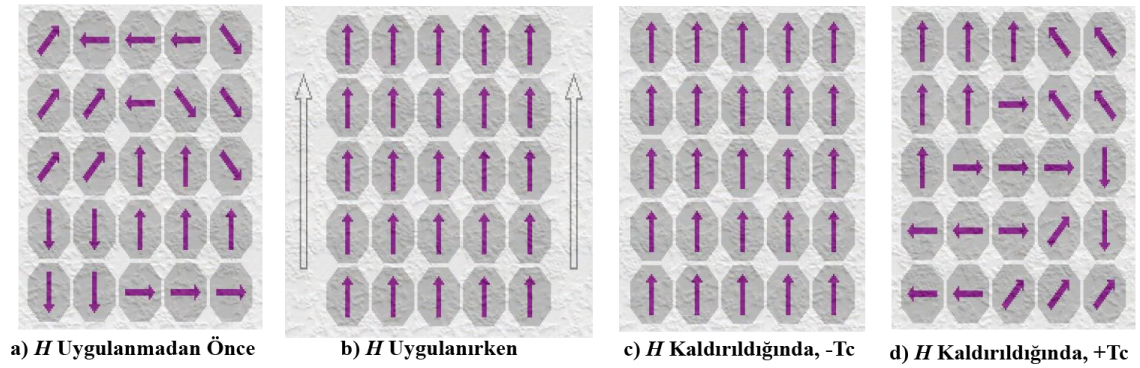
(b)

2.2.3. Ferromanyetizma

Ferromanyetik malzemeler paramanyetik ve diyamanyetik malzemelerden oldukça farklı karakteristikler sergilemektedirler. Zayıf bir manyetik alan dahi uygulandığında, birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahip malzemelere ferromanyetik malzemeler denir.

Ferromanyetik malzemelerde uygulanan manyetik alan kaldırıldığında manyetik dipollerin yöneliminde bir değişiklik olmaz ve kalıcı manyetik özellik kazanırlar. Bu sürekli yönelme etkisi komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimlere dayanır. Dışardan manyetik alan uygulandığında ferromanyetik malzemelerin sahip olduğu manyetik moment davranışları Şekil 2.3.'de gösterilmiştir. Malzemeler Curie sıcaklığı denilen değerden daha yüksek sıcaklıklara maruz bırakılırlarsa paramanyetik bir karaktere sahip olmaya başlar. Curie sıcaklığı alt başlıkta incelenmiştir [37].

Ferromanyetik malzemelere örnek olarak demir, nikel, kobalt, gadolinyum ve disprosyum verilebilir.



Şekil 2.3. Dışarıdan uygulanan manyetik alan sonucunda ferromanyetik malzemelerin sahip olduğu manyetik momentlerin davranışları [29, 38]

2.2.3.1. Domein bölgeleri

Ferromanyetik malzemeler domein denilen mikroskobik bölgelere sahiptir. Bu bölgelerden herhangi birinde bulunan momentlerin hepsi aynı doğrultuda yönelmişlerdir.

Domein bölgelerinin ortalama hacimleri $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^3$ olup $10^{17} - 10^{21}$ civarında atom içerirler. Bu tür farklı bölgeleri birbirinden ayıran yapıya ise domein duvarı adı verilir.

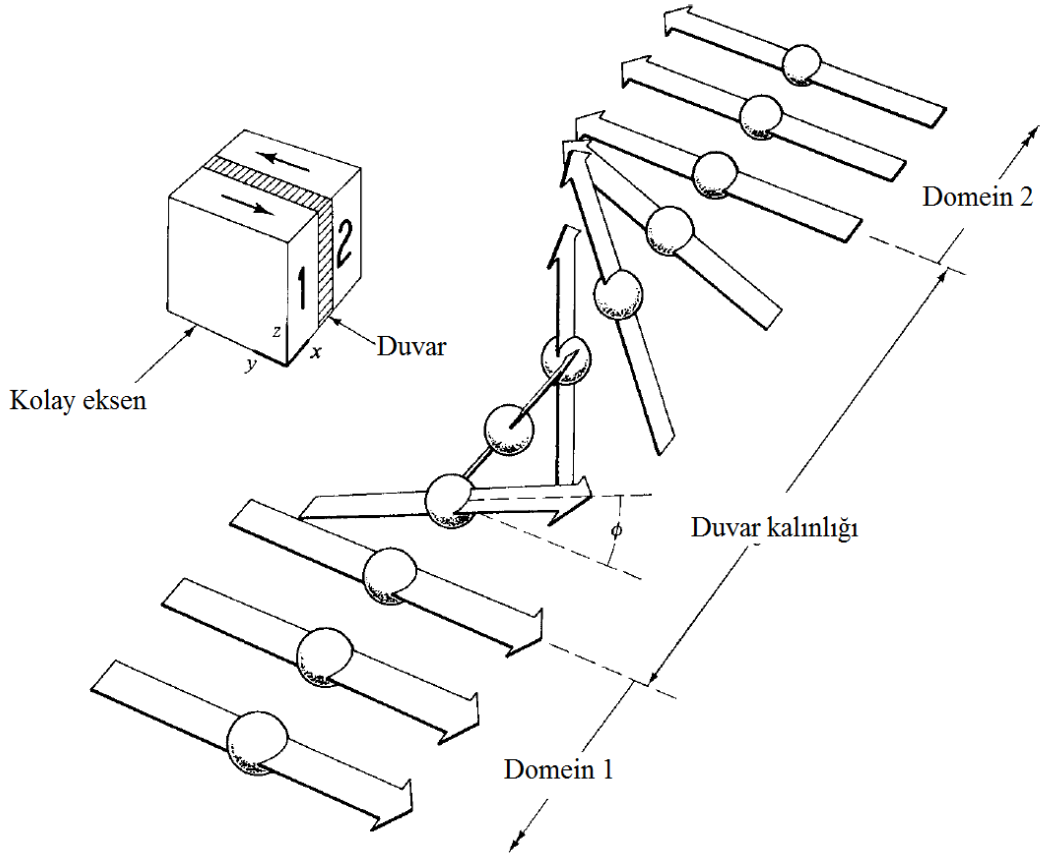
Manyetik alan uygulanmış ferromanyetik bir malzemede bu domein duvarlarının çevrelediği bölgeler net manyetik alan sıfır olacak şekilde gelişmiş doğru düzlemlerde yönelirler.

Manyetik alana maruz kalan ferromanyetik malzemelerde bu bölgelerin değişimi şu iki şekilde olur;

- Mıknatıslanması alan doğrultusunda olan bölgeler zıt doğrultuda olanlara kıyasla daha fazla büyüme gösterir.

- Alan şiddeti arttıkça bölgelerin mıknatıslanması alan doğrultusunda yönelmeye başlar [37].

Bu bölgelerin yönlenmesinde dislokasyonlar, tane büyüklüğü, safsızlık gibi kusurların yanı sıra malzemenin kristalografik yönelimleri de önemli rol oynar [8]. Şekil 2.4.'te farklı yönelimlere sahip domein bölgelerinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Malzeme yapısındaki 180° farklı yönelimlere sahip domein bölgelerinin yapısı [27]

2.2.3.2. Curie sıcaklığı

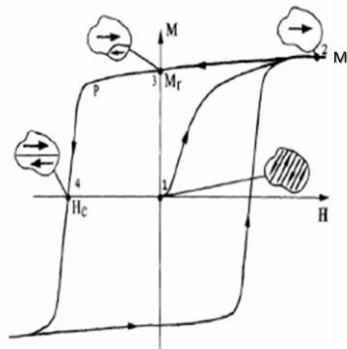
Ferromanyetik bir malzemenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı (T_c) denilen kritik seviyeye ulaştığında veya bu değeri aştığında malzeme mıknatıslanma özelliğini yitirir ve paramanyetik karakteristik kazanır. Curie sıcaklık değerinin altında manyetik momentler yönlenmiş halde bulunur ve malzeme ferromanyetiktir. Curie sıcaklığının üzerine çıkılmaya başlandığında ise malzemenin yapısındaki ısıl dalgalanmalar artarak manyetik momentlerin rastgele dizilmesine sebebiyet verir. Malzemenin paramanyetik yapıya geçmesi de bu nedenledir. Çizelge 2.2.'de bazı ferromanyetik malzemelerin Curie sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı ferromanyetik maddelerin Curie sıcaklıkları [32]

Madde	Curie Sıcaklığı T_c (K)
Demir	1043
Kobalt	2394
Nikel	631
Gadolinyum	317
Fe_2O_3	893

2.2.3.3 Histeresiz döngüleri

Histeresiz döngüleri dışarıdan uygulanan bir manyetik alan (H) ile bu alan içerisine yerleştirilmiş malzemede, indüklenen mıknatıslanma (M) ya da manyetik indüksiyon (B) arasındaki ilişkiyi gösteren davranıştır.



Şekil 2.5. Ferromanyetik bir numuneyle ait malzemenin histeresiz döngüsü [39]

Nano boyutlardaki manyetik malzemelerin fiziksel parametrelerinin belirlenmesi ve karakterizasyonu aşamasında histeresiz döngülerinin analizi ve yorumlanması önemli bir rol oynamaktadır [17]. Şekil 2.5.'de ferromanyetik bir malzemeye ait histeresiz döngüsü görülmektedir.

Mıknatıslanmamış ferromanyetik malzemeye bir dış manyetik alan uygulandığında malzeme uygulanan alan yönünde mıknatıslanmaya başlar. Manyetik alan şiddeti arttırılmaya devam edilirse belirli bir değerden sonra mıknatıslanma değeri değişmez. Bu maksimum mıknatıslanma değerinde, manyetik momentler manyetik alan yönünde dizilir. Bu kritik değere doyum mıknatıslanması adı verilir [39]. Manyetik alan ortadan kaldırıldığında malzemenin yapısında kalan mıknatıslanma değerine ise kalıcı mıknatıslanma denir. Manyetik alan uygulandıktan sonra doyuma ulaşmış malzemenin sahip olduğu mıknatıslanma değerini tekrar sıfıra indirmek için uygulanan ters manyetik alana ise koersivite denir. Koersivite değeri malzemenin depolama şartlarına göre değişebilmektedir [13, 40].

Denklem 2.2.1 ile gösterilen Hoffman'ın dalga teorisine göre çok kristalli yapıya sahip ince filmlerde parçacık boyutu değişen malzemelerin koersivite değerlerinde de değişiklik meydana gelmektedir [14].

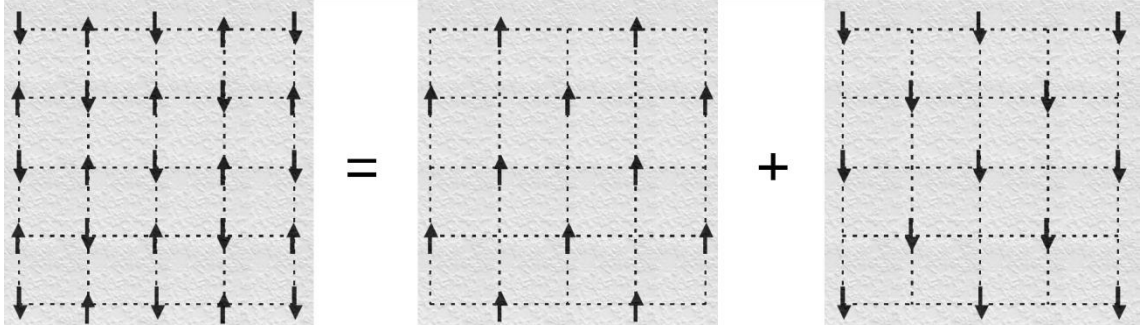
$$H_c = \frac{\beta\sqrt{2}\sqrt{DS}}{L\pi M_s} \left(\frac{K_u}{A} \right)^{1/4} \quad (2.2.1)$$

Burada; H_c koersivite, A değiş-tokuş sabiti, D ortalama tanecik boyutu, S yapı faktörü, K lokal anizotropi, n verilen kalınlıklardaki tanecik sayısı, M_s doyum manyetizasyonu, L ise çiftlenme genişliğidir.

Manyetik malzemeler manyetik momentlerin yapısı yanı sıra koersivite değerine göre de yumuşak ve sert manyetik malzemeler olmak üzere iki gruba ayrılır. Koersivite değeri 12,5 Oe altında olan malzemelere yumuşak manyetik malzeme, 125 Oe üzerinde olanlara ise sert manyetik malzeme denir.

2.2.4. Antiferromanyetizma

Ferromanyetik malzemelerde manyetik momentler aynı yönlü ve eşit büyüklüklere sahiptir. Antiferromanyetik malzemelerde ise isminden de anlaşılacağı üzere manyetik momentler zıt yönlü fakat eşit büyüklüktedir.



Şekil 2.6. Farklı iki alt örgüye sahip antiferromanyetin yapısı [33]

Bu yapıdaki malzemeyi Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi birinin manyetik momenti yukarı, diğersinin ise aşağı doğru yönelmiş iç içe iki alt örgüden oluşmuş bir malzeme olarak tanımlayabiliriz [33].

Antiferromanyetik malzemelerde histeresiz ve artık mıknatıslanma görünmez. Yalnızca, sıcaklığa bağımlı, küçük, pozitif duyunluk değerine sahiptir [29].

2.2.5. Ferrimanyetizma

Antiferromanyetik malzemenin yapısındaki iki alt örgü, eşit büyüklüklerde fakat farklı yönlerde manyetik momentlere sahiptir. Ferrimanyetik malzeme yapısındaki kusurlar veya kristalografik sebeplerden dolayı zıt manyetik momentler farklı büyüklüklere sahip olabilmektedir. Bu durum sonucunda net mıknatıslanmaya ferrimanyetizma denir. Alt örgülerin sıcaklığa karşı göstermiş olduğu tepkiler net mıknatıslanmayı sıfır yapabilir [33].

Bu malzemelere en yaygın örnek olarak magnetit (Fe_3O_4) gösterilebilir. Ferrimanyetik malzemeler yüksek elektrik direnci ve manyetik geçirgenlik değerlerine sahiptir. Histeresiz döngüleri ise bu malzemelerin hafıza depolama açısından kullanışlı olabileceğini gösterir [37].

2.2.6. Süperparamanyetizma

Hacimli manyetik malzemelerin domein bölgelerinden oluştuğu bilinmektedir. Bu bölgelerin her biri tek tip mıknatıslanmaya sahiptir. Fakat domein duvarları ile ayrılan farklı bölgelerde mıknatıslanmanın yönü de değişmektedir. Malzemenin boyutları düşürüldüğünde domein boyutları da buna bağlı olarak azalır. Bu durum sonucunda domein duvarı genişliği ve yapısı değişir.

Parçacık boyutu kritik bir seviyeye kadar düşürüldüğünde manyetik malzeme yalnızca tek domeine (single domain) sahip olur [30, 41]. Manyetik malzemenin boyutlarında yapılan bu değişiklik süperparamanyetizma adı verilen fiziksel olguya kapı aralar [42].

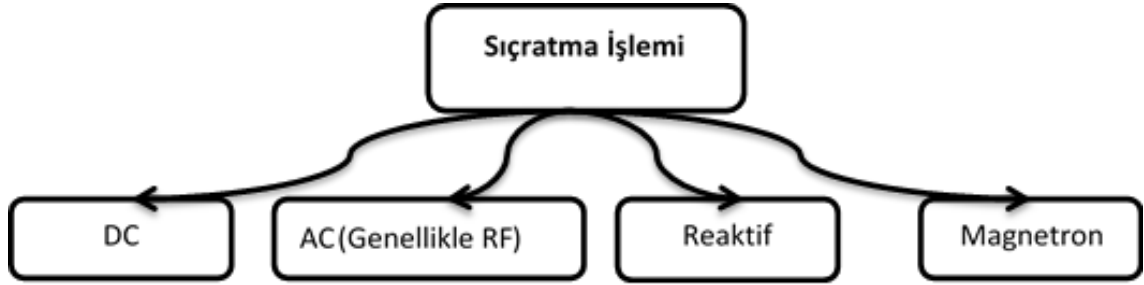
Süperparamanyetik malzemeler yapılarında çok küçük kristaller (genellikle 1 nm'den 20 nm'ye kadar) bulundurma gibi bazı özel şartlar altında ferromanyetik ve paramanyetik davranışlar göstermektedir. Bu malzemeler hacimli yapıda ferromanyetik ve ferrimanyetik özellikler gösterirken malzemenin sıcaklığı Curie sıcaklığına ulaştığında paramanyetik davranış göstermeye başlar. Isıl enerji manyetik dipollerin yönelimini etkileyecek seviyeye vardığında ısıl dalgalanmalar artarak mıknatıslanmanın sıfıra gitmesine sebebiyet verir [29, 43].

Süperparamanyetik malzemelerin manyetik uygunluk değerleri ferromanyetik ve paramanyetik malzemelerin uygunluk değerleri arasında yer alır [44].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Doğru Akım (DC) Manyetik Alanda Sıçratma Tekniği

Vakum temelli ince film depolama teknolojileri fiziksel (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) olarak iki temel kategoriye ayrılır.



Şekil 3.1. Sıçratma teknikleri

Sıçratma tekniğinde depolama işlemi Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi (DC), (AC) (genellikle RF), reaktif ve manyetik alanda sıçratma (magnetron) olmak üzere dört temel yöntem ile yapılır. Ayrıca her yöntemin kendi arasında oluşturduğu melez yöntemler de mevcuttur. Tez kapsamında incelediğimiz CoFe/Au filmlerin üretildiği doğru akım (DC) manyetik alanda sıçratma (sputtering) tekniği, fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden bir tanesidir [45, 46]. Resim 3.1.'de sıçratma işleminin yapıldığı sistem gösterilmektedir.

Sıçratma ile biriktirme veya depolama işlemi ilk defa 1877'de Wright tarafından başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. 19.yy'ın sonundan 1970'lere kadar teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilen bu teknik günümüzde yüksek kaliteli ince filmler elde etmemize olanak sağlamaktadır [47,48].

Sıçratma işlemi, genel bir ifade ile katı bir yüzeyi yeterli enerjiye sahip atomlarla veya iyonlarla bombardıman etmek suretiyle bu yüzeyden atom koparma işlemine verilen isimdir [49].

Sıçratma tekniği için iki teorik model önerilmiştir. Bunlardan birincisi ısısal buharlaştırma teorisi diğeri ise momentum transferi teorisidir. Termal buharlaştırma teorisinde hedef malzemenin yüzeyi yüksek enerjili iyonlarca bombardıman edilerek buharlaşmaya kadar yeterince ısıtılır. Momentum transferi teorisinde ise hedef

malzemenin yüzey atomları yüzeye çarpan parçacıkların aktardığı momentumdan dolayı ortama yayılır.

1926'da Hippel, 1935'te Sommermeyer ve 1944'te de Townes'in yaptığı deneysel çalışmalar termal buharlaştırma teorisini desteklemiştir. Momentum transferi teorisi ise ilk olarak 1908'de Stark, 1934'te Compton ve 1956'da Wehner'in yaptığı çalışmalarla büyük öneme kavuşmuştur [50].

Düşük basınç altında gerçekleştirilebilen sıçratma işleminde belirli bir enerjiye sahip parçacıklar hedef malzeme yüzeyine çarptığında momentum aktarımı söz konusudur. Ortaya çıkan enerji hedef malzeme yüzeyinde dislokasyonlara sebebiyet vererek bağların kopmasına neden olur. Sıçratma gazı olarak genellikle argon gazı kullanılır [51,52].

Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi sıçratma süresince ikincil elektronları hedefe yakın yerlerde tuzaklayabilmek için bir manyetik alan uygulanır. Bu sayede daha yüksek bir sıçratma oranı elde edilir. Ayrıca sıçratılan atomlar nötr yüklü olduğu için uygulanan manyetik alandan etkilenmezler [53].

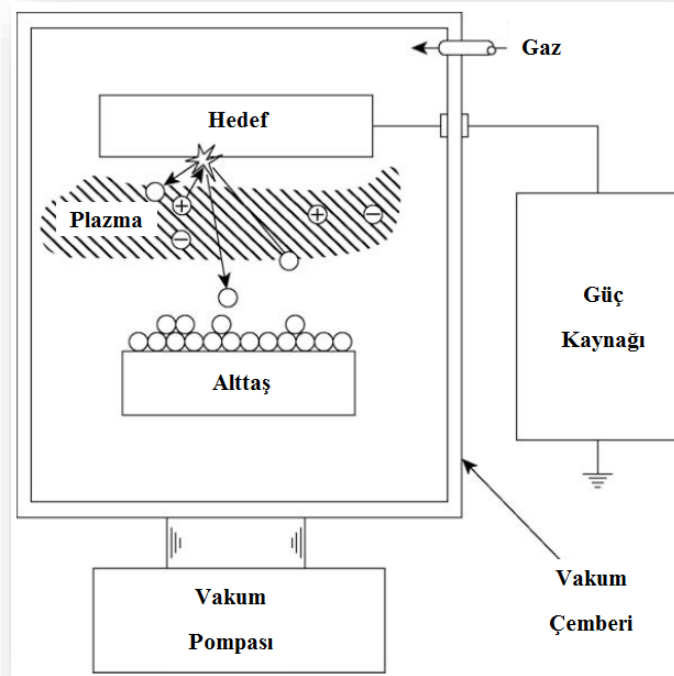


Resim 3.1. ATC 2200 altı hedefli AJA sıçratma cihazı

Sıçratma yönteminin bazı avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir. [51, 54-57].

Avantajları;

- Elementler, alaşımlar ve bileşikler sıçratma yöntemi ile depolanabilmektedir.
- Basınç altında temiz bir ortamda depolama yapılmasına imkan sağlar.
- Kullanılan hedef malzeme sabit bir geometriye sahip uzun süreli buharlaştırma sağlayabilmektedir.
- Sistemde bazı ayarlamalar yapıldığı takdirde hedef malzeme şekilden bağımsız olarak geniş alanlı bir buharlaştırma sağlayabilmektedir.
- Sıçratma kaynağı ihtiyaca göre bir çizgi ya da çubuk şeklinde ayarlanabilir.
- 1 nm/s 'den 10 nm/s'ye kadar değişen depolama oranı imkânı sunar.
- Alttaş üzerinde yüksek ısısal değişikliklere sebebiyet vermez.
- Yoğun ve iyi tutunabilen kaplama imkânı sunar.
- İnce film malzemeleri konusunda büyük bir çeşitlilik imkânı sunar. (Neredeyse tüm metal ve bileşikler.)



Şekil 3.2. Sıçratma düzeni [57]

Dezavantajları;

- Sıçratma hedefi ya da plazmadan kaynaklanan radyasyon ve bombardıman sonucunda alttaş üzerinde aşınmalar söz konusu olabilmektedir.
- Eğer oluşturulan plazma ortamı eş dağılımlı değilse yüzey temizliği tam anlamıyla yapılamaz. Bu durum bombardıman oranı düşük olduğu zaman temizlenen bölgelerde yeniden bir depolanmaya sebebiyet verir ve bu noktalarda birikmeler oluşur.

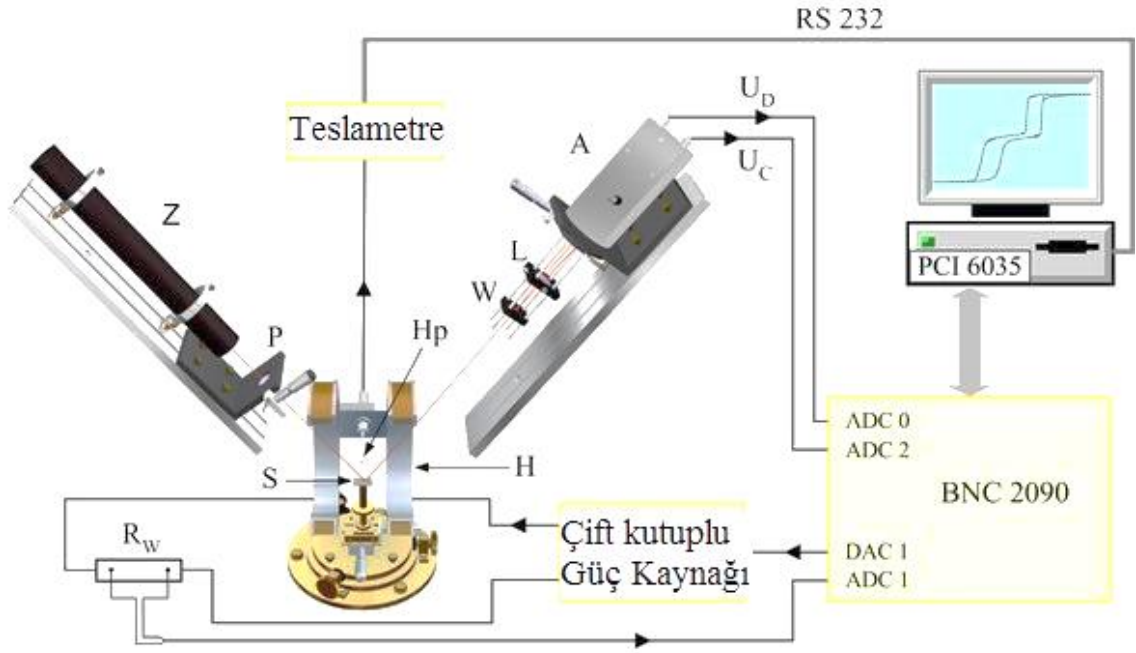
3.2 Manyeto-Optik Kerr Etkisi (MOKE) ve Manyetometresi

Işığın manyetik bir malzeme ile etkileşime girmesi sonucunda manyeto-optik olay gerçekleşir. Manyeto-optik olaya dair ilk veriler 1845 yılında Faraday'ın manyetik alana maruz bırakılmış bir malzemenin içerisinden geçen ışığın polarizasyonunda meydana gelen değişiklikleri incelediği çalışmalara dayanmaktadır. 1877'de ise John Kerr parlatılmış elektromıknatıs kutbundan yansıyan ışığın polarizasyonu üzerine yaptığı çalışmalarda manyeto-optik olayı gözlemlemiştir. Kısaca manyetik malzemenin içinden geçen ışığın polarizasyonundaki değişmeye Faraday olayı, manyetik malzemedan yansıyan ışığın polarizasyonundaki değişmeye ise Kerr olayı denilmiştir.

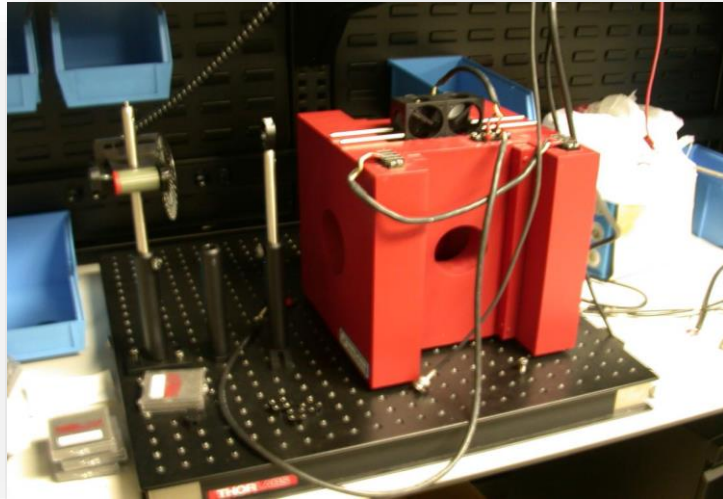
Manyeto-optik Kerr olayında ölçülen değerler malzemenin mıknatıslanması ile orantılı değerlerdir [58].

Manyetizmanın ince filmlerin yapısında ve malzeme yüzeylerinde oynadığı rol gün geçtikçe önem kazanmış dolayısıyla da nano boyuttaki manyetik olayları incelemek için yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç duyulmuştur. Kerr olayı bu ihtiyacı karşılamak üzere ilk defa Moog ve Bader (1985) tarafından kullanılmıştır [73]. Bu araştırmacılar Au (100) üzerine epitaksiyel olarak büyütülmüş atomik seviyede katman kalınlıklarına sahip demir ince filmler üzerine çalışmışlar ve manyetik histerezis döngülerini tek katman duyarlılığında elde etmeyi başarmışlardır. Kullanılan tekniğe yüzeysel manyeto-optik Kerr etkisi anlamına gelen SMOKE ismini vermişlerdir. Bu teknik o zamandan günümüze kadar dünya çapında pek çok laboratuvarında öncelikli yüzey mıknatıslığı ölçüm tekniği olarak yerini almıştır. Bu kadar geniş bir kabul görmesinin sebebi ise basitliği ve numunenin mıknatıslığı konusunda çok önemli bir yeri olan histeresiz döngülerini

kolayca hesaplayabilmesidir. Ayrıca numune yüzeyi optiksel yansıma olayını gerçekleştirebilecek özelliklere sahip olduğu takdirde bu teknik için hemen hemen hiçbir numune ölçümünde bir sınırlandırma söz konusu değildir. Şekil 3.3.'de MOKE sisteminin şematik gösterimi, Resim 3.2.'de ise kullanılan düzenek gösterilmektedir.



Şekil 3.3. MOKE sisteminin şematik gösterimi; Z-Lazer, P-Kutuplayıcı, Hp-Hall Probu, W-Wollaston Prizması, L-Lensler, A-Ayrımsal Yükselteç, H-Helmholtz Bobinleri [61]



Resim 3.2. Kullanılan MOKE cihazı

MOKE cihazına alternatif olarak numunelerin manyetik yapısını anlamının bir diğerk yolu ise Titreşimli Numune Magnetometresi (VSM) kullanılmaktadır. Bu teknikte titreşen bir malzemeye manyetik alan uygulanır ve bu alana karşı malzemenin tepkisi ölçölüp, manyetik özellikler belirlenir [8]. MOKE tekniğı VSM'den farklı olarak malzemenin en yüzeyindeki katmanların mıknatıslığını hızlı bir şekilde ölçebilmektedir. Bunun sebebi ise kullanılan ışık kaynağının numune yüzeyinin belli bir miktarına kadar nüfuz etmesidir [59]. Ayrıca çok ince filmlerde (~10 nm) VSM yetersiz kalmaktadır [60].

3.3. Manyetik Kuvvet Mikroskobu

Manyetik kuvvet mikroskobu (MFM) bir numunenin manyetik yapısı hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla manyetik kuvvetlerin veya kuvvet gradyentlerinin ölçölüdüğü, temeli atomik kuvvet mikroskobuna dayanan bir görüntüleme tekniğıdir [62]. Bu teknik ferromanyetik ve süperiletken maddelerin manyetik özelliklerini anlamamıza yardımcı olan en yaygın tekniklerden birisidir [63, 64]. Esnek bir kola tutturulmuş çok küçük ferromanyetik uç ile numunenin hemen dışındaki homojen olmayan manyetik alan arasındaki kuvvet etkileşimleri incelenir. Resim 3.3.'de cihazın uç yapısı görölmektedir.

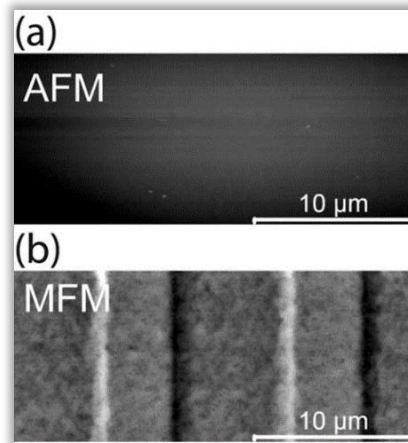
MFM işlemi uygulanırken dikkat edilmesi gereken pek çok husus söz konusudur. Örneğın taramayı gerçekleştiren ucun numuneye nazaran daha yumuşak veya daha sert manyetik yapıya sahip olması durumunda elde edilecek görüntüde farklılıklar oluşabilmektedir. Sert manyetik özellik göstermesi durumunda uçta bulunan manyetizasyon numunenin sahip olduğı manyetik alanla hiçbir etkileşimde bulunmaz ve görüntü oluşmaz. Aynı şekilde uçta bulunan manyetik momentlerin dağılımı da görüntüleme üzerinde belirgin nitel bir etkiye sahiptir. Uç üzerinde nokta benzeri manyetik bir parçacık basit manyetik dipol görevi görebilirken daha uzun ya da iğne benzeri bir uç manyetik monopol etkisi gösterebilir. Ayrıca MFM numunenin manyetik alanında bulunan uçtaki net sapmayı ya da numunenin üzerindeki alanda rezonans halde titreşim yapan ucun genlik, frekans veya fazındaki değışimleri algılayabilir.

Uç ve numune yüzeyi birbirine yaklaştığında aralarında net bir çekici kuvvet meydana gelir. Van der Waals etkileşimleri bu tarz kuvvetlere örnek olarak verilebilir. Bu çekici kuvvete ek olarak manyetik bir kuvvet de söz konusu olacaktır. Bu kuvvet ise uçtaki mıknatıslığın görelı yönelimine ve numune üzerindeki manyetik alan gradyentine bağılı

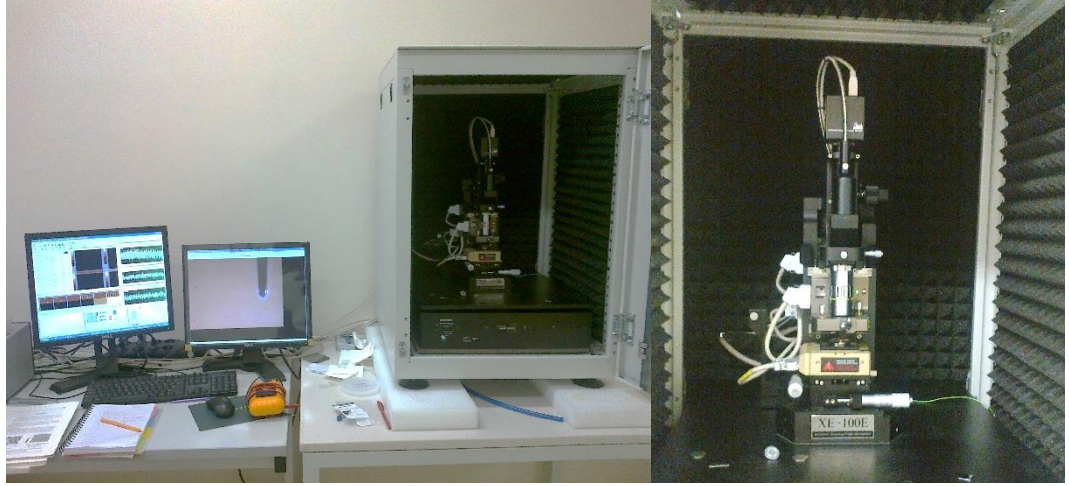
olarak itici veya çekici özellik gösterebilir. Oluşan manyetik kuvvetin de çekici etkiye sahip olduğu durumda titreşim kolu sapar ve numune yüzeyine oldukça yaklaşır. Bu durum titreşim kolunun doğal rezonans frekansını artırarak sertleşmesine yol açar. Eğer söz konusu manyetik kuvvet itici bir etkiye sahip olursa titreşim kolu bu kez numune yüzeyine doğru daha az sapar, kısmen gevşer ve rezonans frekansı düşer. Titreşim kolunun rezonans frekansı yüksek hassasiyetle belirlenebildiğinden manyetik alan gradyentindeki lokal değişimleri görüntülemek ve domein yapısını anlamak kolaylaşır. Şekil 3.4.'te bir kalibrasyon numunesinden alınan MFM görüntüsü bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan MFM cihazı ve bilgisayar ünitesi Resim 3.4.'te gösterilmektedir.



Resim 3.3. MFM cihazının uç yapısı [62]



Şekil 3.4. Bir kalibrasyon numunesinden alınan (a) AFM (b) MFM görüntüleri [65]



Resim 3.4. AFM (MFM) cihazı ve bilgisayar ünitesi.

3.4. X-Işınları Kırınımı (XRD)

X-ışınları 1895 yılında Alman fizikçi Röntgen tarafından keşfedilmiş elektromanyetik dalgalara verilen isimdir. Yüksek enerjili elektronların metal bir hedefe çarptırılmasıyla elde ettiği bu ışınlar o zaman için doğasının tam bilinmemesinden dolayı X-ışınları demiştir. Şu özellikleri X-ışınlarını görünür ışıktan farklı kılmaktadır;

- a) gözle görülmezler,
- b) fotoğraf filmine etki ederler,
- c) nüfuz derinliği normal ışıktan daha fazladır,
- d) görünür ışığın dalga boyu $4000-8000 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-1} \text{ nm}$) iken kırınımında kullanılan X-ışınlarının dalga boyları $0,1-10 \text{ \AA}$ aralığında değişebilmektedir. Dalga boylarından da açıkça görüldüğü gibi X-ışınları elektromanyetik spektrum çizgisi üzerinde morötesi ve γ -ışınları arasında yer alır.

X-ışınları birkaç farklı yöntemle elde edilebilmektedirler. Bu yöntemlerden ikisi;

a) İvmelendirilen elektron metal bir hedefe doğru gönderildiğinde atom çekirdeğinden kaynaklanan Coulomb alanına maruz kalır ve yavaşlar. Bu yavaşlama esnasında kinetik enerjisindeki değişimi X-ışını olarak yayımlar.

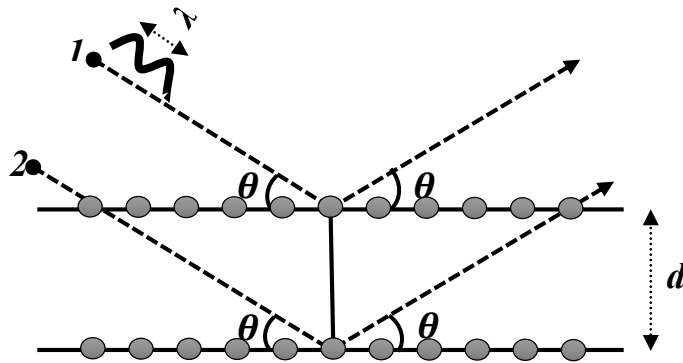
b) Elektronlar hedefe ulaştığında yeterli enerjiye sahipse hedefteki metalin iç yörüngelerinden bir elektronu uyarır. Uyarılan elektrondan arta kalan boşluk yüksek

enerji seviyelerinden başka bir elektron tarafından doldurulur. Bu iki enerji seviyesi arasındaki fark ortama foton olarak salınır ve karakteristik X-ışınları meydana gelir.

X-ışınları, içerisinde elektron kaynağı ve iki elektrot bulunan bir X-ışını tüpünde gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda elde edilir. Elektronlar arasında oluşturulan çok yüksek gerilimin sonucu olarak elektronlar anot ve katot tarafına çekilir. Çok yüksek hızlarla çarpışan elektronlar X-ışınlarını oluşturur ve bu ışınlar her doğrultuda yayılır. Bazı tüplerde tek dalga boyuna sahip X-ışınlarını elde edebilmek için çeşitli filtreler kullanılmaktadır.

Tıp, endüstri ve astronomi alanlarında oldukça önemli bir boşluğu dolduran X-ışınları fizikte ise genellikle kristal yapıların karakterizasyonu konusunda güçlü bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilindiği gibi kristal yapılar düzgün yinelenen periyodik yapılara sahiptir. X-ışınları Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi bu periyodik yapılar üzerine gönderildiğinde malzemenin yapısındaki atomlar tarafından kırınımına uğrar ve bir girişim deseni oluşturur. Bu kırınım desenini elde edebilmek için X-ışınlarının malzemenin atom düzlemlerine çarpma açısı (θ), atom düzlemleri arasındaki mesafe (d) ve kullanılan X-ışınlarının dalga boyu (λ) arasında belirli bir bağıntının bulunması gerekir. Bragg kanunu olarak bilinen ve Denklem 3.4.1'de gösterilen bu bağıntı X-ışını kırınım deseninin elde edilebilmesi için gerekli şartları ifade eder.

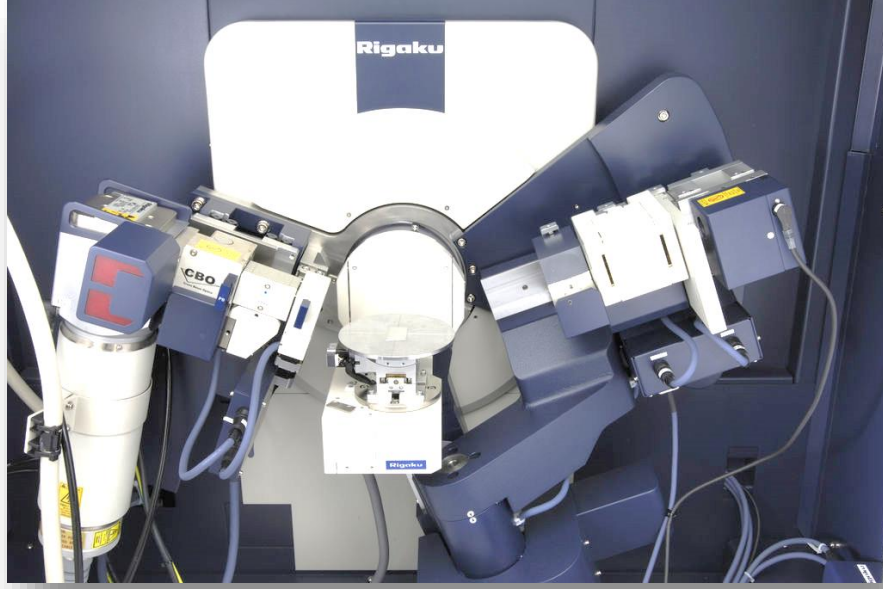
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.4.1)$$



Şekil 3.5. Kristal malzeme içerisindeki atom katmanları tarafından kırılan X-ışınları

X-ışınları kırınımı yöntemiyle kristal ve molekül yapı analizlerinde çok sayıda Bragg yansıması şiddetinin ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca $\sin \theta < 1$ olması gerektiği için

Bu tez çalışmasında ele alınan filmler 40-70 nm kalınlık aralığında değiştiği için GI-XRD analizlerini yapmak üzere Resim 3.5.'de gösterilen Rigaku Ultima IV XRD [$\lambda(\text{CuK}\alpha)=1,5406 \text{ \AA}$] marka cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.5. Rigaku Ultima IV XRD cihazı [80]

3.5. Elektriksel Özelliklerin Ölçümü

Yaprak veya yüzey iletkenliği ölçümleri için geliştirilmiş pek çok yöntem olmasına rağmen bu tez çalışmasında dört nokta prob ve Van der Pauw metotları incelenmiştir. Bir çift prob veya bağlantı üzerinden akım geçirilmesi ve diğer iki prob üzerinden de gerilimin ölçülmesi ele alındığında iki yöntem birbirine oldukça benzemektedir. Dört nokta prob yöntemi genellikle düz bir film yüzeyi üzerinde aynı hizada, eşit aralıklı probleler yerleştirilerek gerçekleştirilir. Van der Pauw metodu ise dört kontağın da numunenin çevresine yerleştirildiği gelişi güzel şekillenmiş, küçük katmanların öz direncini ölçmede kullanılır [3, 69, 70].

Dört nokta prob metodu şekil 3.7.'de gösterildiği gibi dört tane eşit aralıklı ve aynı düzlem üzerine yerleştirilmiş problelerden oluşur. Prob uçlarının probleler arası mesafe olan s' e göre oldukça küçük olması gerekir. Prob ucu ve numune arasında bir ohmik kontak

olduğu farz edilir. Genellikle akım (I) iki dış prob üzerinden geçer. Gerilim (V) ise içerideki iki prob üzerinden ölçülür.

Dört nokta prob metodunda öz direnç Denklem 3.5.1'den bulunur;

$$\rho = 2\pi s F V / I \quad (3.5.1)$$

Burada F düzeltme faktörüdür. İletken katman kalınlığı t olan ve iletken altlığına sahip bir numune için düzeltme faktörü Denklem 3.5.2 ve 3.5.3'deki gibi ifade edilir.

$$F_1 = \frac{t/s}{2 \ln(\cosh(t/s) / \cosh(t/2s))} \quad (3.5.2)$$

Eğer altlık yalıtkan ise düzeltme faktörü;

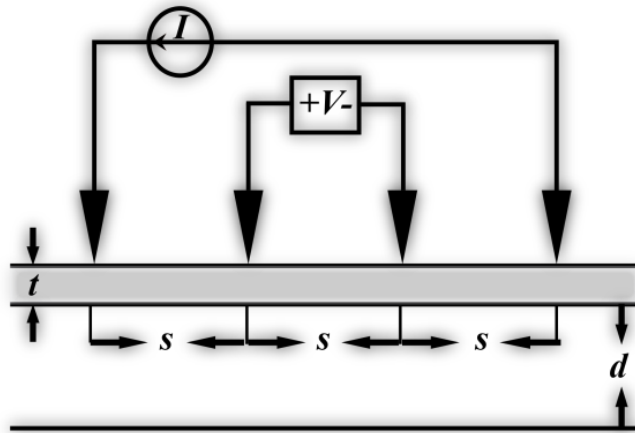
$$F_1 = \frac{t/s}{2 \ln(\sinh(t/s) / \sinh(t/2s))} \quad (3.5.3)$$

şeklinde ifade edilir.

d çapına sahip bir dairesel plaka söz konusu olduğunda ise düzeltme faktörü;

$$F_2 = \frac{\ln 2}{\ln 2 + \ln \left[\frac{(d/s)^2 + 3}{(d/s)^2 - 3} \right]} \quad (3.5.4)$$

olur. Burada $d > 40s$ olduğu takdirde F_2 değeri 1'e yaklaşır.

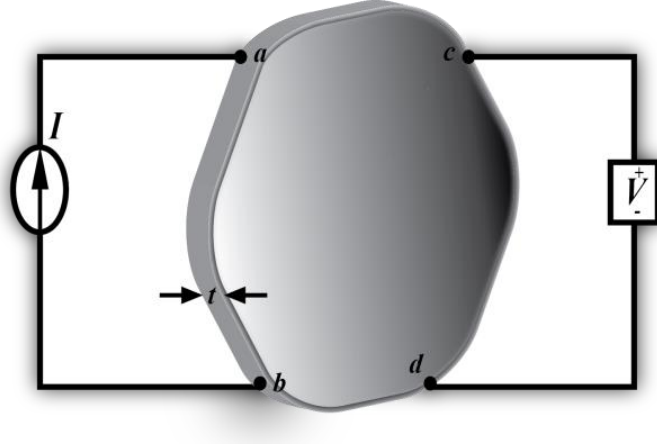


Şekil 3.7. İletken ve t kalınlıklı bir ince filmin öz direncinin 4PP metodu ile ölçülmesi

Probları plaka kenarlarına yerleştirirken dört prob aralığından daha yakına koyduğumuzda bu durum ölçümlerde hatalara sebebiyet verebilir. Sınır uzaklıkları için düzeltme faktörleri Schroder (1990)'da bulunmaktadır [71].

Van der Pauw metodu gelişi güzel şekillenmiş, küçük katmanların öz direncini bulmamıza yardımcı olur ve bu metotla dört nokta prob metodundan daha küçük yüzey alanlarında ölçüm yapılabilir [72]. Bu yöntem genellikle entegre devre işlemede kullanılır.

Bu metotta Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi homojen ve düzgün bir yapıya sahip t kalınlığındaki bir numunenin etrafına dört tane küçük kontak yerleştirilir. $R_{ab,cd}$ direncini ölçmek için a 'dan b 'ye doğru bir akım geçirilir. c ve d üzerinden de gerilim değeri bulunur ve direnç değeri elde edilir.



Şekil 3.8. Gelişigüzel bir şekle sahip numunenin öz direncinin Van der Pauw metodu ile ölçülmesi

$$R_{ab,cd} = \frac{|V_c - V_d|}{|I_{ab}|} \quad (3.5.5)$$

Şekil 3.8.'deki gibi 90 derece çevrildiğinde tekrar aynı simetriye sahip dört katlı simetrik kontaktarı bulunan homojen ve düzgün bir yapıdaki numuneler için $F=1$ olur. Dolayısıyla gerekli ara işlemler yapıldıktan sonra Van der Pauw metodu için öz direnç ifadesi Denklem 3.5.6.'da gösterildiği gibi yazılır.

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} R_{ab,cd} = 4,532tR_{ab,cd} \quad (3.5.6)$$



Şekil 3.9. Genel Van der Pauw yapıları: A) Kare B) Artı C) Yaprak

3.6. İnce Filmlerin Depolanması

3.6.1. Ön işlemler

Öncelikle DC manyetik alanda sıçratma cihazının vakum ayarları yapıldı. Çember içerisindeki vakum $1,5 \times 10^{-8}$ torr değerine düşene kadar beklenildi. Çalışma kapsamında incelenen dört farklı alt tabaka kalınlığına sahip filmlerin hepsi Si (110) alttaş üzerine depolandı. Depolama öncesinde Si alttaşlar sıçratma cihazında 40 saniye (s)'lik ön-temizlik işlemine tabi tutuldu. Sıçratma sisteminde hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ve Au kullanıldı.

3.6.2. 40 nm $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ince filminin depolanması

Alttaşın ön-temizlik işlemi bittikten sonra sıçratma cihazına hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ yerleştirildi. Sıçratma işlemi 300 W güç ve 3 mTorr Ar gaz basıncında gerçekleştirildi. Cihazın giriş parametrelerinde çalışma süresi 247 s olarak ayarlandı. Böylece 40 nm kalınlıkta $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ince filmler üretildi.

3.6.3. 6-10-20-30 nm Au alt tabakalara sahip $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ince filmlerin depolanması

Si (110) alttaş 40 saniye süreyle 40 W güçte sıçratma cihazında ön-temizlik yapıldı. Alttaşın temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına hedef olarak Au yerleştirildi. 6 nm Au katmanı alttaş üzerine 150 W güç ve 1mTorr Ar gazı basıncında kaplandı. 6 nm Au alt tabaka için sıçratma sistemi 15 s çalıştırıldı. Daha sonra sıçratma cihazına hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ yerleştirildi. 40 nm' lik CoFe katmanının Au katmanının üzerine üretimi 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 sn çalıştırılarak CoFe/Au film depolandı. 10, 20 ve 30 nm'lik altlıklar için de aynı işlemler

uygulandı. Depolama oranları aynı olmakla birlikte bekleme süreleri sırasıyla 25, 50 ve 75 sn olarak ayarlanmıştır. Çizelge 3.1.'de filmlerin üretim sürecindeki sıçratma parametreleri verilmektedir.

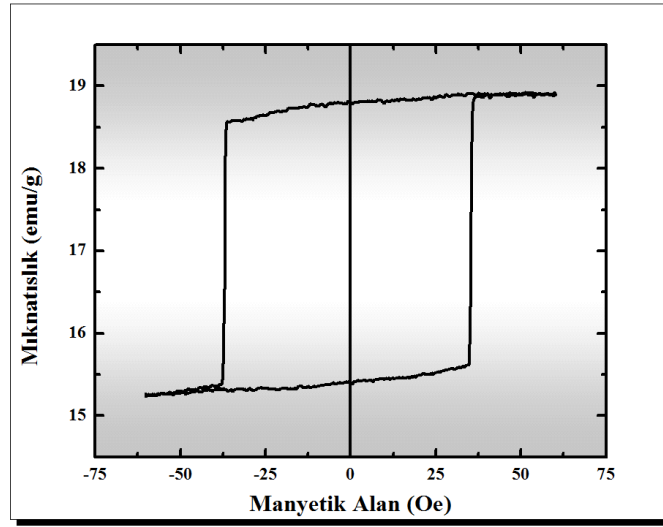
Çizelge 3.1. Sıçratma parametreleri

Malzeme	Ar basıncı	Sıçratma gücü	Kaplama Hızı	Süre
40 nm CoFe	3 mTorr	300 W	1,62 Å/sn	247 sn
6 nm Au	1 mTorr	150 W	4 Å /sn	15 sn
10 nm Au	1 mTorr	150 W	4 Å/sn	25 sn
20 nm Au	1 mTorr	150 W	4 Å /sn	50 sn
30 nm Au	1 mTorr	150 W	4 Å /sn	75 sn

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Manyetizasyon Ölçümleri

Malzemelerin manyetizasyon ölçümleri MOKE düzeneği kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen grafikler malzemelerin ferromanyetik yapıya sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Manyetizasyon ölçümleri kapsamında 5 farklı Au alt tabaka kalınlıklarına sahip CoFe manyetik ince filmlerinin manyetizasyon ölçümlerini gösteren zor eksen grafikleri incelenmiştir.

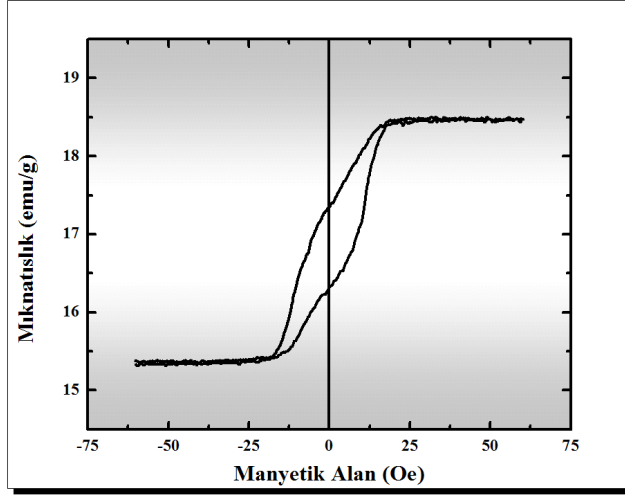


Şekil 4.1. CoFe(40 nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi

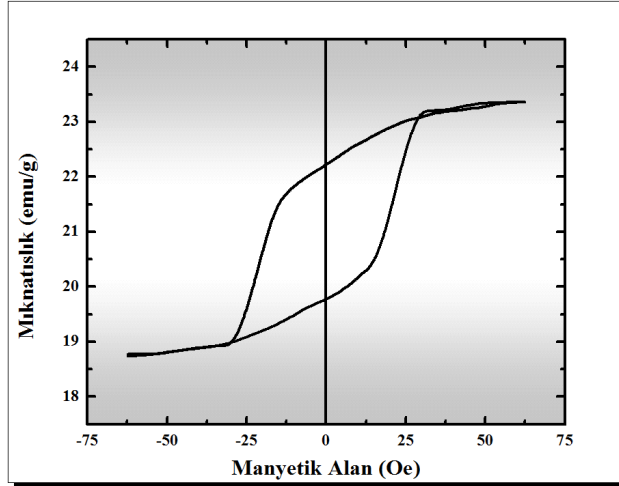
Şekil 4.1.'de gösterilen histeresiz eğrisi incelendiğinde Si altlık üzerinde büyütülen CoFe ince filmin zor eksen koersivitesi 37 Oe olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde belirtilen yumuşak mıknatıslık değerlerinden büyüktür. Bulunan değer sıçratma tekniği ile üretilen diğer Fe-Co bazlı manyetik filmlerin koersivitesi ile uyum içindedir [14, 74].

Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere 6 nm Au alt tabaka kullanılarak üretilen CoFe filmin M-H eğrisi önceki grafikte gösterilen alt tabaka kullanılmadan üretilen CoFe filminden oldukça farklıdır. Bu grafik incelendiğinde zor eksen koersivite değerinin 4,6 Oe'e kadar düştüğü görülür.

6 nm kalınlığındaki Au alt tabaka filmin koersivitesini 37 Oe'den 4,6 Oe'e kadar düşürerek malzemeye yumuşak mıknatıslık özelliği kazandırmıştır.



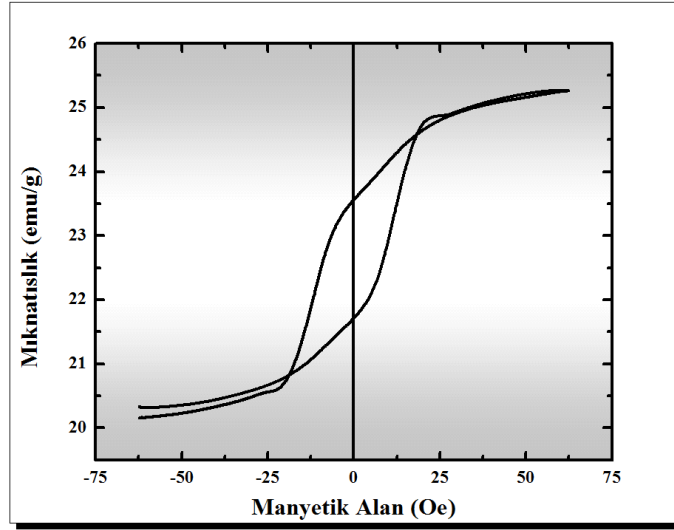
Şekil 4.2. CoFe(40nm)/Au(6nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi



Şekil 4.3. CoFe(40nm)/Au(10nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi

10 nm Au alt tabaka kalınlığına sahip CoFe filmin Şekil 4.3.'de gösterilen grafiğine baktığımızda alt tabaka etkisi sayesinde filmin zor eksen koersivitesinin 37 Oe'den 16 Oe'e düştüğünü görmekteyiz. Dolayısıyla CoFe/Au(10nm) için de alt tabakanın filmin manyetik yapısını etkilediğini söyleyebiliriz.

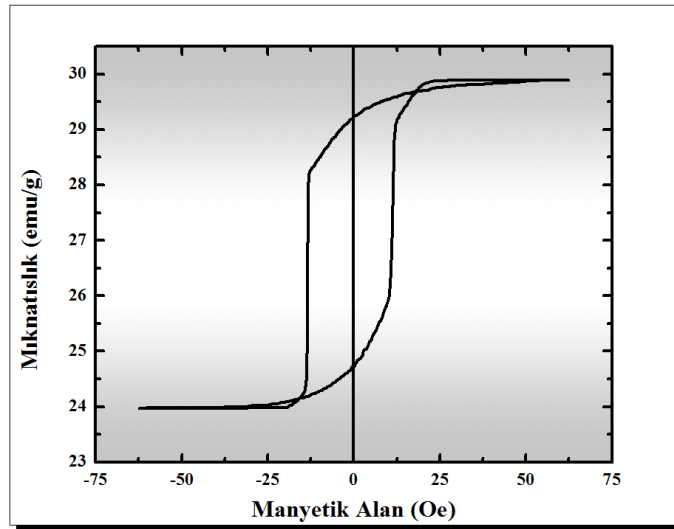
Şekil 4.4.'te 20 nm Au alt tabaka kullanılarak depolanan CoFe filme ait M-H eğrisi görülmektedir. Kullanılan alt tabaka filmin zor eksen koersivite değerini 7,5 Oe'e kadar düşürmüştür.



Şekil 4.4. CoFe(40nm)/Au(20nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi

Şekil 4.5.'te gösterilen 30 nm Au alt tabakanın kullanıldığı son numunemizde ise zor eksen koersivite değeri 13,3 Oe olarak elde edilmiştir.

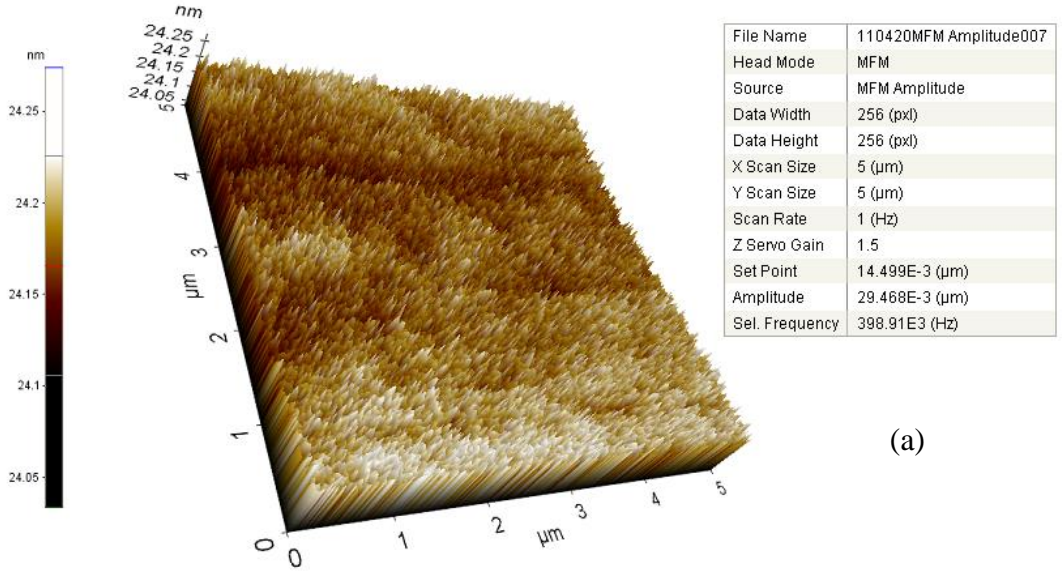
Grafiklerden de görüldüğü üzere alt tabaka olarak kullanılan altın katmanının kalınlığı değişikçe filmin manyetik kimliğinde değişiklikler meydana gelmektedir. 6 nm'lik Au alt tabaka koersivite değerini 37 Oe'den 4,6 Oe' e kadar düşürerek malzemeye yumuşak mıknatıslık özelliği kazandırmıştır.



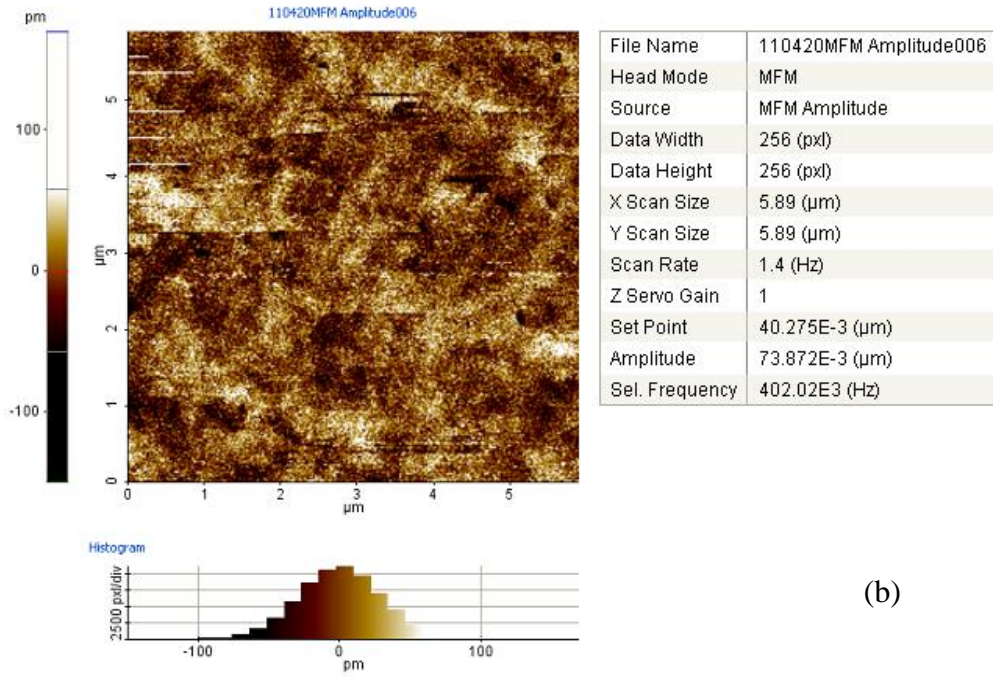
Şekil 4.5. CoFe(40nm)/Au(30nm) ince filminin manyetizasyon eğrisi

4.2. MFM Görüntüleri

Depolanan filmlerin yüzey mıknatıslığını ve domain yapılarını görüntüleyebilmek amacıyla iki manyetik yüzey arasındaki (uç ve malzeme) etkileşim sayesinde görüntüleme mantığına dayanan MFM tekniği kullanılmıştır.



(a)

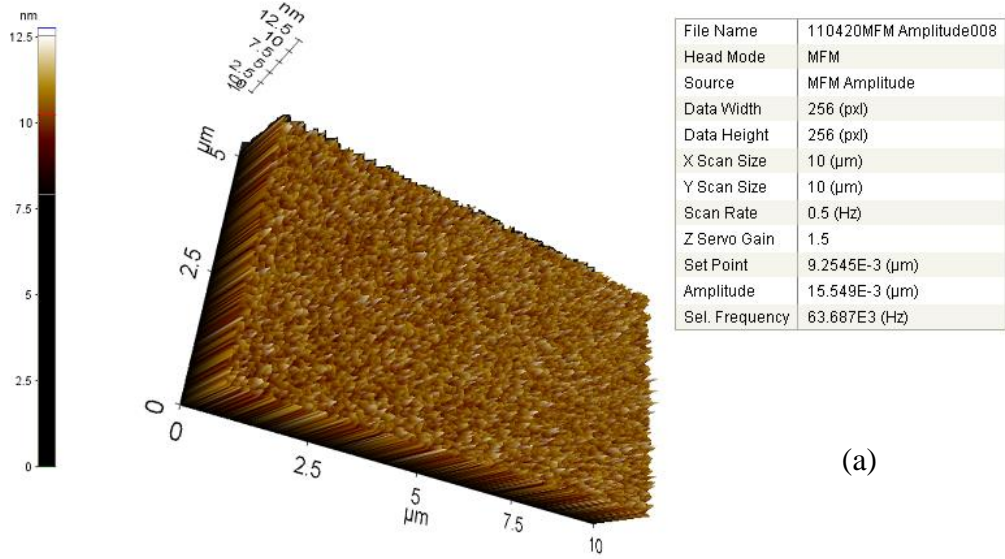


(b)

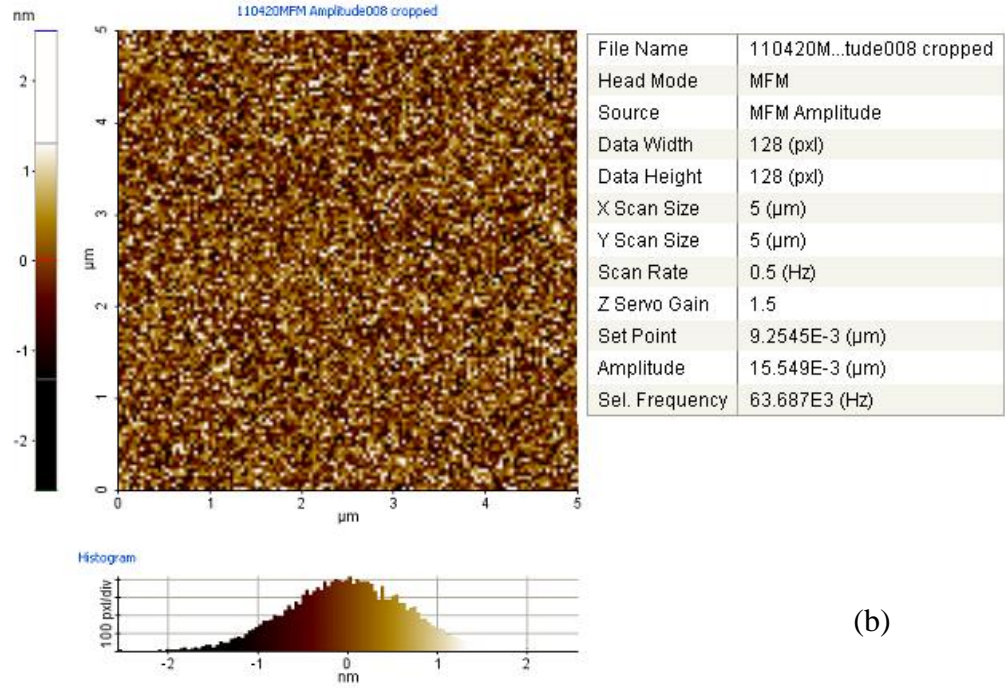
Şekil 4.6. CoFe(40nm) filme ait üç boyutlu (a) ve yüzeysel (b) MFM görüntüleri

MFM ölçümleri Park Systems XE-100E model AFM cihazında manyetik uç aparatı kullanılarak yüzeye dokunmadan alınmıştır. Bu sayede malzemelerin yüzeylerinde herhangi bir deformasyona sebebiyet verilmemiştir.

Şekil 4.6.'da Au alt tabaka kullanılmadan depolanan CoFe filme ait üç boyutlu ve yüzeyel MFM görüntüleri ve analiz detayları gösterilmektedir.



(a)



(b)

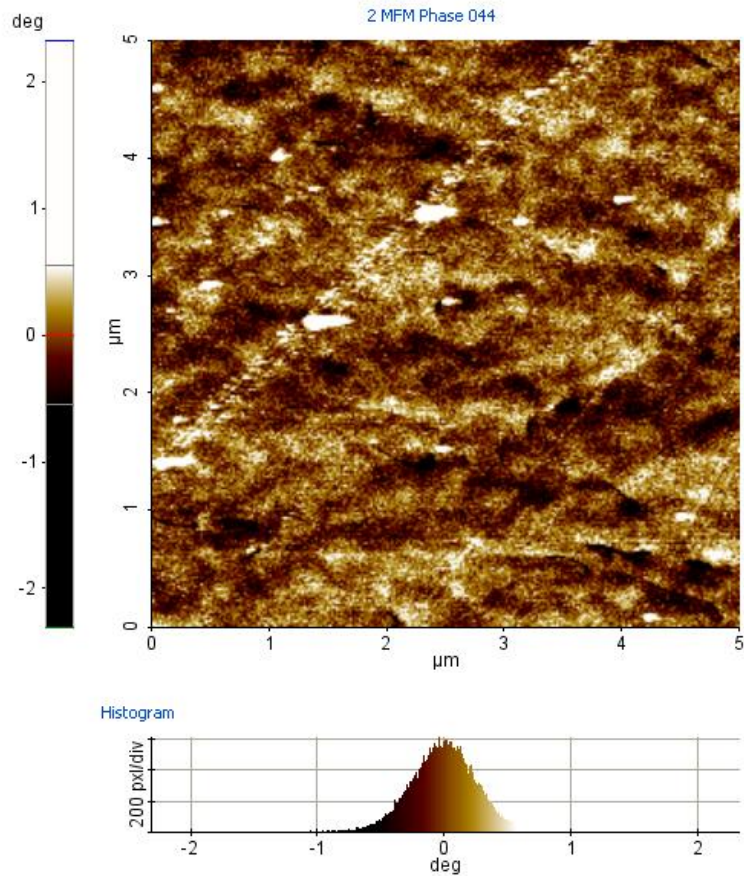
Şekil 4.7. CoFe(40nm)/Au(6nm) filme ait üç boyutlu (a) ve yüzeyel (b) MFM görüntüleri

Şekillere dikkatli bakıldığında domein bölgelerinin düzenli sıralanmasından bahsedemeyiz fakat bu bölgelerin varlığı açıkça görülmektedir. Bu sonuç MOKE ölçümlerinden alınan ve domein bölgelerinin varlığını işaret eden 37 Oe'lik koersivite değeri ile uyum içerisindedir.

Şekil 4.7.'de Au (6nm) alt tabaka kullanılarak depolanan CoFe filme ait üç boyutlu ve yüzeyel MFM görüntüleri ve analiz detayları gösterilmektedir.

Şekil 4.6.'da gösterilen CoFe ince filmine ait domein bölgelerinin Au altlık etkisiyle belirginliğini kaybettiği açıkça görülmektedir. Ayrıca bu sonuç filmin koersivite değeri ile birebir uyum içerisindedir.

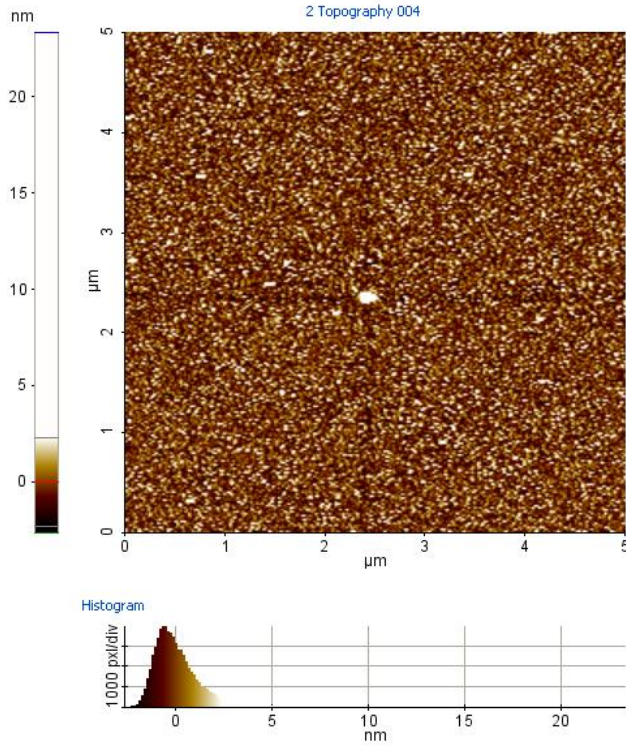
Yumuşak manyetik özellik gösteren ince filmlerde domein bölgelerinin belirsizleştiği farklı kaynaklarda da belirtilmiştir.



Şekil 4.8. CoFe(40nm)/Au(10nm) filme ait yüzeyel MFM görüntüsü

10 nm Au altlık kullanılarak üretilen filmde manyetik domeinlerin varlığı alt tabaka kullanılmadan üretilen CoFe'ye benzer şekilde açıkça görülmektedir.

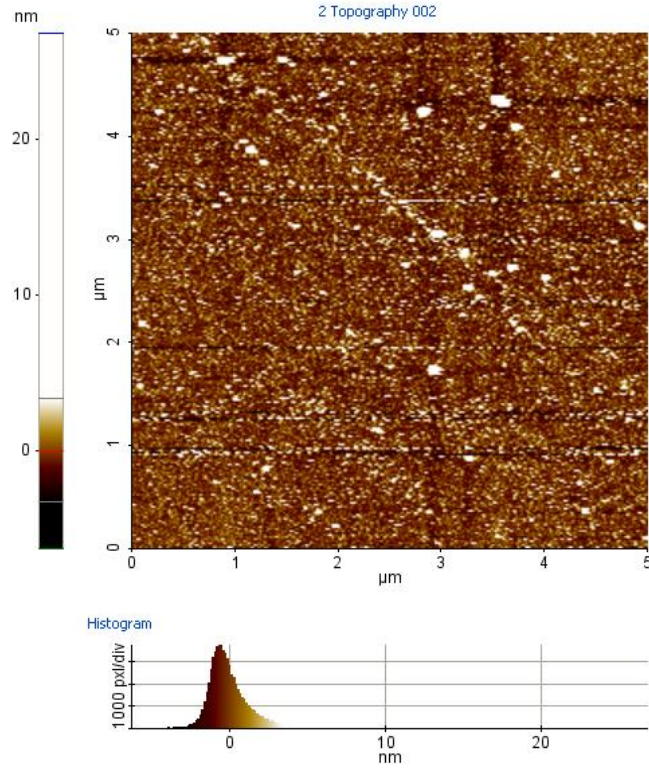
Domein bölgeleri düzensiz dağılmış olsa da filmin koersivite değeri 16 Oe olduğu için domein bölgelerinin 6 nm Au altlık kullanılarak üretilen filme göre daha belirginleştiği ortadadır.



Şekil 4.9. CoFe(40nm)/Au(20nm) filme ait yüzeysel MFM görüntüsü

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da ise sırası ile 20 nm ve 30 nm Au altlık kullanılarak üretilen CoFe filme ait MFM desenleri görünmektedir. 20 nm Au altlık kullanılarak üretilen filmde domein bölgelerinin 30 nm Au altlık kullanılarak üretilen filme göre daha belirsizleştiği bulunmuştur. Sonuçlar MOKE ölçümlerinden alınan sırasıyla 7,5 ve 13,3 Oe'lik değerler ile uyum içerisindedir.

S. H. Kong ve ark. ürettikleri FeCoB filmlerde NiFe alt tabaka kullanmışlar ve yapılan manyetik analizinde koersivite değerinin 43 Oe'den 5 Oe'e kadar düştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca MFM analizinde malzemenin domein yapısının da koersivite değerinin azalmasına bağlı olarak belirsizleştiğini bildirmişlerdir [75].

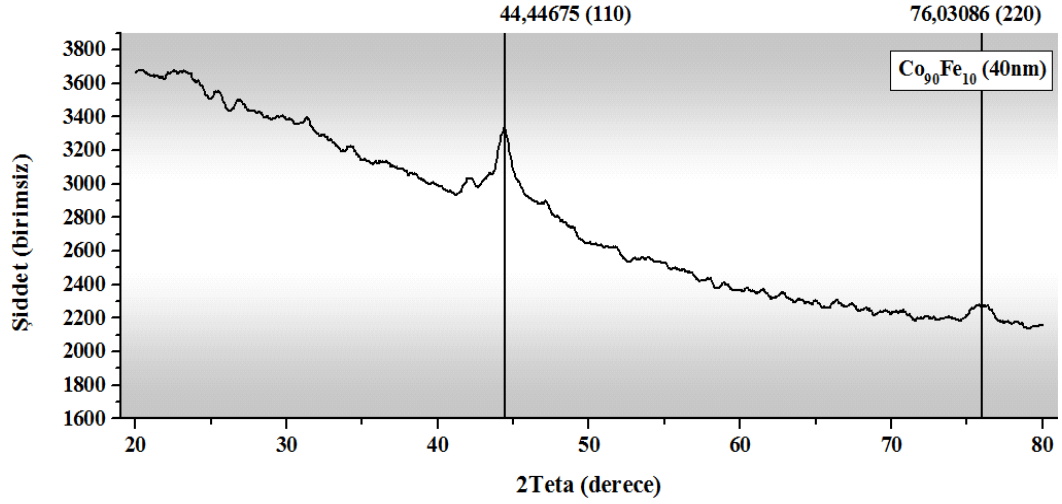


Şekil 4.10. CoFe(40nm)/Au(30nm) filme ait yüzeysel MFM görüntüsü

Elde edilen tüm bu bulguları ve bilgileri dikkate aldığımızda Au alt tabaka kalınlığının filmin manyetik yapısında oldukça etkili olduğu görülür.

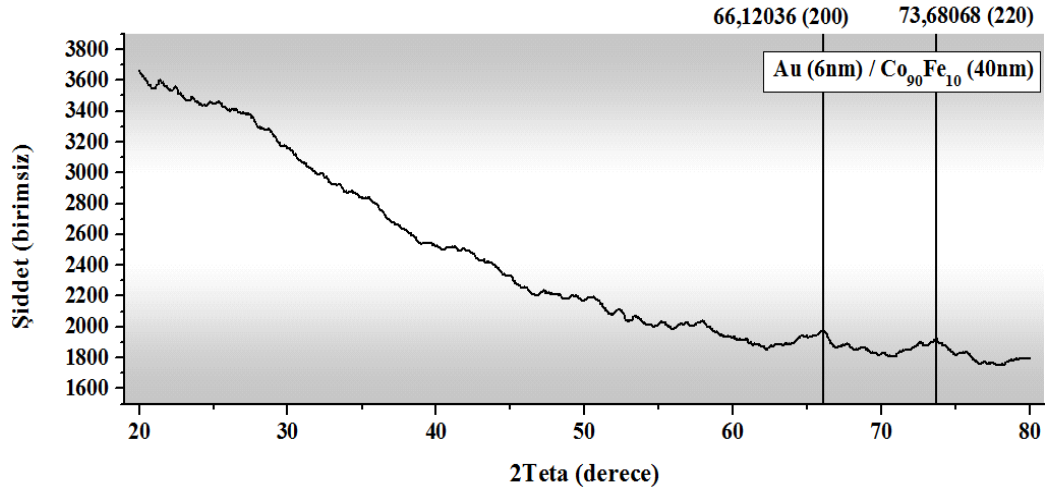
4.3. GI-XRD Spektrumları

X-ışını kırınımı (XRD), katı ve toz malzemelerin yapılarındaki çeşitli kristal formlar veya fazlar hakkında bilgi sahibi olmamıza yarayan analitik bir tekniktir. Sırasıyla CoFe(40nm), CoFe(40nm)/Au(6nm), CoFe(40nm)/Au(10nm), CoFe(40nm)/Au(20nm), CoFe(40nm)/Au(30nm) kalınlıklara sahip 5 farklı ince filmin X-ışını kırınımı analizleri Rigaku Ultimate IV XRD cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler esnasında difraktometredeki bakır hedefe 35 kV'luk gerilim ve 30 mA'lik akım uygulanarak elde edilen CuK_α X-ışınları kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. Farklı Au alt tabaka kalınlıklarına sahip CoFe ince filmlerin X-ışını kırınım analizleri sırası ile şekillerde gösterilmiştir.



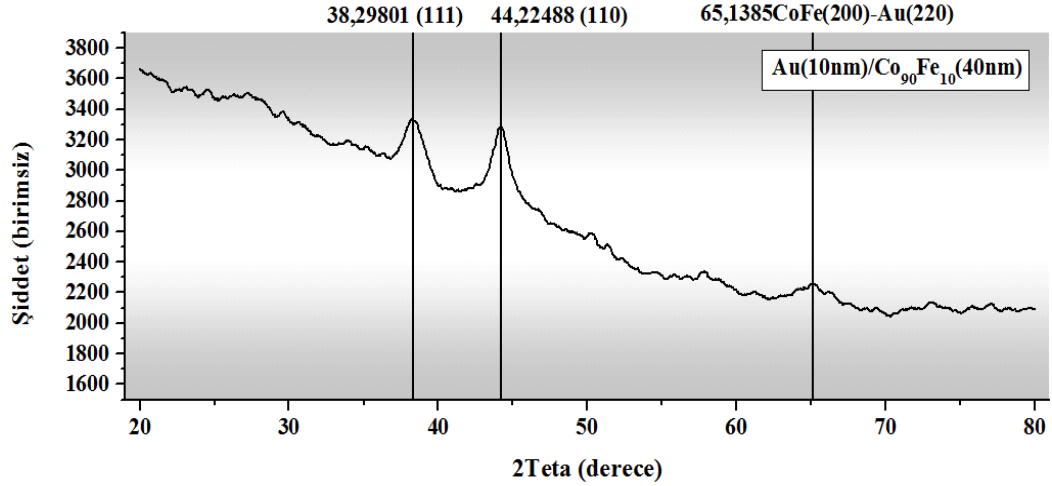
Şekil 4.11. CoFe(40nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi

Şekil 4.11.'de görüldüğü üzere Si altlık üzerine üretilen $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ince filminin sahip olduğu kristal yapı ağırlıklı olarak bcc (110) yapısındadır. Malzemenin ana fazının bcc (110) olması yanı sıra zayıf (220) yönelimine sahip olduğu da görülmektedir.



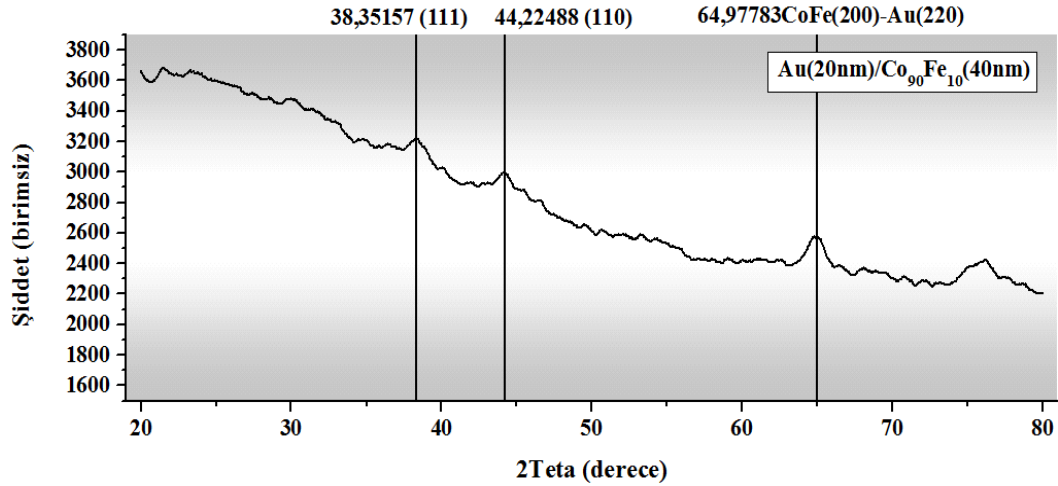
Şekil 4.12. CoFe(40nm)/Au(6nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi

Şekil 4.12.'deki 6 nm Au alt tabaka üzerine üretilen CoFe filme ait X-ışını kırınım spektrumuna baktığımızda Au altlığın film yapısını etkilediği görülmektedir. Alt tabaka etkisi 44° 'deki (110) yönelimine ait pikin kaybolmasına sebebiyet vermektedir. Zayıf (200) ve alt tabakasız CoFe filminde de görülen (220) yönelimlerine ait pikler görülmektedir. (220) yönelimine ait pikin kaymaya uğradığı da dikkat çekicidir.



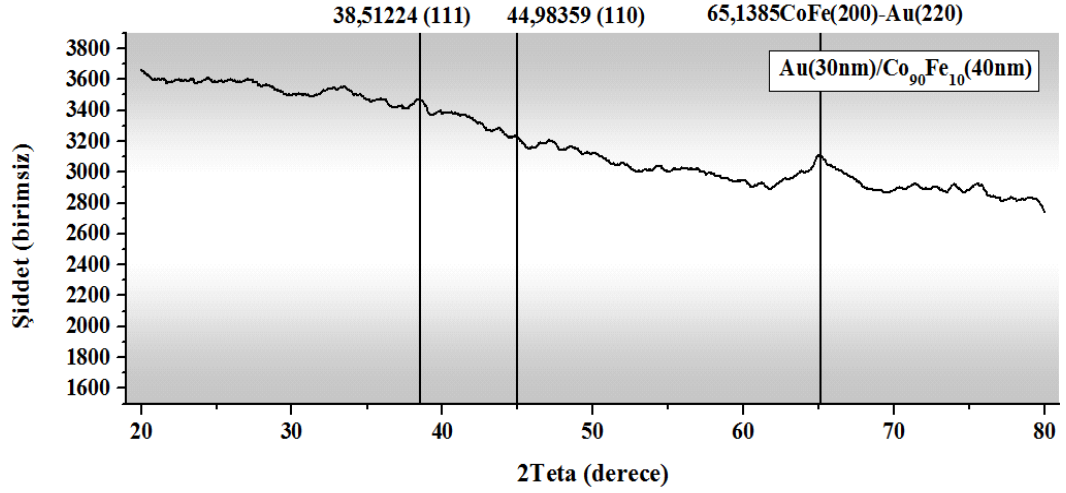
Şekil 4.13. CoFe(40nm)/Au(10nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi

Şekil 4.13.'e bakıldığında 10 nm Au alt tabaka kullanılarak üretilen CoFe filmde yaklaşık 45° 'deki pike baktığımız zaman CoFe filme ait (110) veya Au alt tabakasına ait (200) yönelimleri görülmektedir. Ayrıca yaklaşık 39° 'deki şiddet pikine bakıldığında Au alt tabakasına ait (111) yönelimi de görülmektedir. Yaklaşık 65° 'deki zayıf şiddet değerine sahip pike bakıldığında CoFe ve Au filmlerine ait sırasıyla (200) ve (220) yönelimleri görülür.



Şekil 4.14. CoFe(40nm)/Au(20nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi

Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'de ise hemen hemen Şekil 4.13.'dekine benzer şiddet değerleri ve yönelimleri görülmektedir. Fakat piklerin genişliklerinde ve şiddetlerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Pik değerlerinin az da olsa kaymaya uğradığı da dikkatimizi çekmiştir.



Şekil 4.15. CoFe(40nm)/Au(30nm) ince filminin X-ışını kırınım analizi

Ayrıca Denklem 3.4.2’de verilen Scherrer eşitliği ile filmlerin tanecik boyutu hesaplanmıştır. Altlık etkisiyle CoFe yapısındaki parçacık boyutlarının değiştiği, Au altlık kalınlığının artmasıyla tanecik boyutlarında azalma meydana geldiği Çizelge 4.1.’de hesaplanan değerlerden görülmektedir. 6 nm kalınlıklı altlık kullanılarak üretilen filmde belirlenen aralıkta pik görülmemiştir.

Çizelge 4.1. CoFe yapısındaki (110) düzlemi için hesaplanan tanecik boyutları.

Numune	2θ (°)	d (Å)
40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀	44,44	107,29
40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀ / 6 nm Au	-	-
40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀ / 10 nm Au	44,22	72,58
40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀ / 20 nm Au	44,22	69,87
40 nm Co ₉₀ Fe ₁₀ / 30 nm Au	43,65	46,12

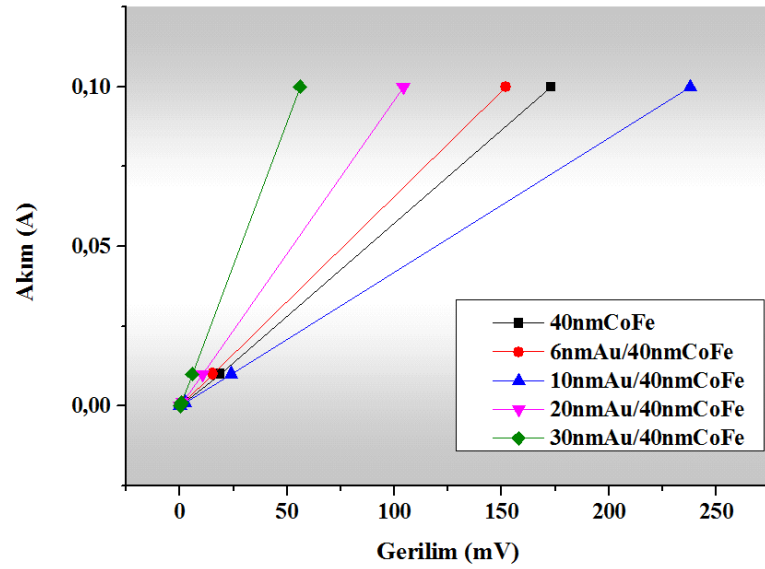
Bu değişimler göstermektedir ki alt tabaka kalınlığındaki değişiklik CoFe filmlerin yapısında değişikliklere yol açmış ve tanecik boyutları üzerinde farklılıklar meydana getirmiştir.

4.4. 4PP Ölçümleri

Malzemelerin yaprak (yüzey) direnci dört nokta prob metodu kullanılarak ölçüldü. İğneler arası mesafe 1 mm olarak ayarlanmıştır. Dört adet farklı alt tabaka kalınlığına

sahip ince film için beklendiği gibi farklı akım-gerilim ve yüzey direnci değerleri elde edilmiştir. Elde edilen öz direnç değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Şekil 4.16.’da gösterilen akım-gerilim grafiği numune yüzeylerinin ohmik bir davranış sergilediği ve metalik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Fakat 10 nm Au altlık kullanılarak üretilen ince filmdeki farklılık dikkatimizi çekmektedir. Bu farklılık öz direnç-kalınlık grafiğinde de açıkça görülmektedir. Söz konusu numunenin öz direnci $2,64 \times 10^{-4}$ cm.ohm olarak bulunmuştur. Buradan yola çıkarak 10 nm Au altlığın malzemenin yüzey direncini daha da düşürüp iletkenliğine katkı sağladığı söylenebilir. Bu farklılığın depolama şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

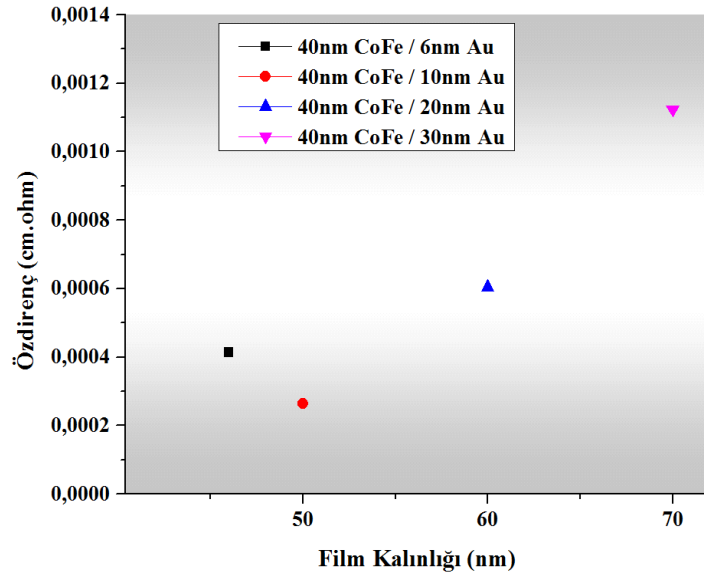


Şekil 4.16. Farklı kalınlıklarda Au alt tabakalara sahip CoFe manyetik ince filmlerin gerilim-akım grafiği

Çizelge 4.2. Malzemelerin öz direnç değerleri

Altlık	6nmAu	10nmAu	20nmAu	30nmAu
Özdirenç(cm.ohm)	$4,13 \times 10^{-4}$	$2,64 \times 10^{-4}$	$6,04 \times 10^{-4}$	$1,12 \times 10^{-3}$

Şekil 4.17.’de filmlerin kalınlık-öz direnç grafiği gösterilmiştir. 10 nm Au altlık kullanılan film dışında diğer ince filmlerde kalınlığın artmasına bağlı olarak artan öz direnç değerleri eğiliminde bir değişiklik görünmemektedir.



Şekil 4.17. Farklı kalınlıklarda Au alt tabakalara sahip CoFe manyetik ince filmlerin kalınlık-özdirenç grafiği

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, DC manyetik alanda sıçratma ile kaplama yöntemi kullanılarak farklı kalınlıklardaki (6nm, 10nm, 20nm, 30nm) Au alt tabakaların üzerine büyütülen nano tanecikli kobalt demir ($\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$) ince filmlerin yapısal, manyetik ve bazı elektriksel özellikleri incelenmiştir. Alttaş olarak Si tabakalar kullanılmıştır.

Bu özelliklerin incelenmesi amacıyla MOKE, MFM, GI-XRD ve 4 Nokta Prob ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler sayesinde altlık etkisinin ince filmlerin koersivite değerleri, domein yapısı, kristal yapısı ve yüzey direnci üzerine etkileri araştırılmıştır.

Literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde bilgisayar depolama birimleri, yazıcı-okuyucu kafalar gibi teknolojik malzemelerin yapısında kullanılan Fe-Co alaşımların çokça kullanıldığı fakat $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ üzerinde fazla durulmadığı anlaşılmıştır. Bu çalışma sayesinde literatüre $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ince filmlerin karakterizasyonuna yönelik katkılar yapılmıştır.

MOKE ölçümlerinden alınan histeresiz döngüleri incelendiğinde sırasıyla 6 nm ve 20 nm Au altlık kullanılarak üretilen filmlerin koersivite değerinin 37 Oe'den 4,6 Oe ve 7,5 Oe değerlerine kadar düştüğü ve yumuşak manyetik malzeme özelliği göstermeye başlaması dikkatimizi çekmiştir. Ayrıca literatürdeki farklı çalışmalarda ince filmlerin XRD ölçümlerinden faydalanılarak yarı pik genişliği hakkında fikir sahibi olduğu böylece Scherrer formülü yardımıyla parçacık boyutları hakkında yorum yapılabildiği gösterilmiştir [2, 27, 39, 76, 77]. Bu durumda koersivite değerinin düşmesini parçacık yarıçapındaki artışa bağlayabiliriz. Denklem 2.2.1'de verilen Hoffman'ın dalga teorisi ve söz konusu filmlere ait MFM, GI-XRD grafikleri de bu yorumu desteklemektedir.

GI-XRD spektrumları incelendiğinde CoFe'nin hacim merkezli kübik (bcc) yapıda kristalleştiği ve tercihli yöneliminin (110) düzleminde olduğu görülür. Au alt tabakaların ise yüzey merkezli kübik (fcc) yapıda kristalleştiği ve tercihli yöneliminin (111) düzleminde olduğu anlaşılır. Ayrıca CoFe ve Au yapılarına ait sırasıyla (200) ve (220) pikleri de tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar JCPDS kartlarında belirtilen değerlerle uyum içerisindedir.

Altlık etkisinin filmlerin tercihli yönelimini değiştirmemekle birlikte kristal yapı içerisindeki tanecik boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, altlık kalınlığı arttıkça tanecik boyutlarında azalma meydana geldiği hesaplanmıştır. CoFe (110) ve Au (111) düzlemlerine ait pikler 6 nm Au alt tabaka kullanılarak üretilen filmde görülmemektedir. Numunenin çok ince olması ve kullanılan Au miktarının çok az olması sebebiyle bu durum beklenen bir sonuçtur.

İnce filmlere ait üç boyutlu ve yüzeysel MFM görüntülerini incelediğimizde koersivite değerinin en çok düştüğü 6nm Au altlık kullanılan numunede domain bölgelerinin de beklendiği gibi düzenli bir sıralanmaya sahip olmadığı ve belirsizleştiği sonucuna varırız. Altlık kullanılarak üretilen filmlerden koersivite değeri en yüksek olan (10nm Au altlık - 16 Oe) numunenin domain bölgeleri diğer numunelere göre daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

4 Nokta prob metodu ile elde edilen veriler kullanılarak numunelere ait akım-gerilim ve özdirenç-film kalınlığı grafikleri çizildi. Çizelge 4.1.'de verilen farklı kalınlıklarda altlıklara sahip ohmik davranış gösteren filmlerin yüzey özdirenç değerleri incelendiğinde alt tabaka kalınlığı arttıkça özdirenç değerlerinde de bir artış söz konusu olmaktadır. Fakat 10 nm Au altlığa sahip filmde bu eğilimden sapma görülmektedir. Söz konusu numunede 10 nm Au altlık özdirenç değerini düşürerek iletkenliğe katkı sağlamıştır.

Yukarıdaki sonuçlar dikkate alındığında, farklı kalınlıklara sahip Au alt tabakaların Si alttaş üzerine depolanan $Co_{90}Fe_{10}$ ince filminin yapısal, manyetik ve bazı elektriksel özelliklerine önemli derecede değişikliklere yol açtığı açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında söz konusu numunelerin altlık etkisiyle arzu edilen karakteristik özelliklere sahip olabileceği ve ileri teknolojik uygulamalarda kullanılan çeşitli malzemelere alternatif sunabilecekleri açığa kavuşmuştur.

6. KAYNAKLAR

- [1] Çıracı, S., 2006. Yeni Ufuklara, Türkiye’de Nanoteknoloji. Bilim ve Teknik Ücretsiz Eki.
- [2] Sönmezoğlu, S., “Nano Tanecikli TiO₂ İnce Filmlerin Yapısal, Morfolojik ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [3] Kaufmann, Elton N., 2003. Characterization of Materials; Volumes 1 and 2. ISBN: 0-471-26882-8, John Wiley & Sons, United States of America.
- [4] Pavel V Kashtanov, Boris M Smirnov, Rainer Hippler., 2007. Magnetron Plasma and Nanotechnology. Phys.-Usp. 50, 455-488.
- [5] Deniz, O., “Manyetik Hafıza Sistemleri İçin Nano Ölçekli IrMn/CoFe İnce Film Sistemlerinde Manyetik-Yapısal Özellik İlişkisinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 2012.
- [6] Şahin, T., “Elektrodepozisyon Tekniğiyle Üretilen Co ve CoFe Filmlerin, Yapısal ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2006.
- [7] Özergin, Ercüment., “Elektrodepozisyon Tekniği ile Büyütülen CoFeCu Filmlerin Yapısal, Manyetik ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2008.
- [8] Kuru, H., “Elektrodepozisyonla Sentezlenen NiFe Alaşım ve NiFeCu/Cu Süperörgülerin Yapısal, Manyetik ve Magnetotransport Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2009.
- [9] Schlesinger, M., Pauvonic, M., 2011. Modern Electroplating 5th Ed, ISBN: 9780470167786 , John Wiley & Sons, United States of America.
- [10] Attenborough, K., Hart, R., Lane, S. J., Alper, M., Schwarzacher, W., 1997. Magnetoresistance in electrodeposited Ni-Fe-Cu/Cu multilayers. J., Magn. Mater., 148, 335.
- [11] Bakonyi, I., Toth, J., Goualou, L., Becsei, T., Toth-Kadar, E., Schwarzacher, W., Nabyouni, G., 2002. Giant Magnetoresistance of Electrodeposited Ni₈₁Cu₁₉/Cu Multilayers. J. Electrochem. Soc., 149, 195.
- [12] Takata, F. M., Sumodjo, P. T. A., 2007. Electrodeposition of magnetic CoPd thin films: Influence of plating condition. Electrochimica Acta, 52, 6089-6096.
- [13] Şentürk, E., “CoNi/Cu Süperörgülerin Elektrodepozisyonu ve Magnetorezis-tans Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2011.

- [14] Coşkun, M. İ., “DC Manyetik Alan Sıçratma Tekniği ile Üretilen $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ Nano Filmlerin Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2011.
- [15] Liu, Y., Liu, F., Stoev, K., Dang, X., Tong, H., Huai, He, Q., 2002. High-Performance Writer Using High-Moment Sputtered Films in Top and Bottom Poles. *IEEE Trans. Magn.* 38, 2222-2224.
- [16] Katada, H., Shimatsu, T., Watanabe, I., Muraoka, H., Nakamura, Y., 2002. Soft Magnetic Properties and Microstructure of $\text{NiFe}(\text{Cr})/\text{FeCo}/\text{NiFe}(\text{Cr})$ Films with Large Saturation Magnetization. *IEEE Trans. Magn.* 38, 2225- 2227.
- [17] Demir, M., “Ferromagnetik İnce Filmlerin Miknatıslanma Eğrilerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2007.
- [18] K. Rajan, G., Ramaswamy, S., Gopalakrishnan, C., Thiruvadigal, D. John, 2011. Effect of an external magnetic field on the morphology and magnetic properties of CoFe nanostructures. *Phys. Status Solidi A* 208, 2947-2852.
- [19] Bellad, S. S., Bhosale, C. H., 1998. Substrate temperature dependent properties of sprayed CoFe_2O_4 ferrite thin films. *Thin Solid Films* 322, 93-97.
- [20] Lee, Gwang-Jae., Lee, H.M., Kim, C.S., Oh, Young-Jei., 1998. Magnetic properties of CoFe_2O_4 powders and thin films grown by a sol-gel method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 177-181, 900-902.
- [21] Yanbo, L., Zhenghua, L., Xi, L., Yu, F., Fulin, W., Kamzin, A. S., Dan, W., 2010. Investigation of microstructure and soft magnetic properties of $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$ thin films deposited on different underlayers. *Journal of Applied Physics* 107, 09A325-09A325-3.
- [22] Lin, C. H., Chen, W. H., Tsay, J. S., Hong, I. T., Chiu, C. H., Huang, H. S., 2011. Structures and magnetic properties of Co and CoFe films prepared by magnetron sputtering. *Thin Solid Films* 519, 8379-8383.
- [23] Nguyen, D. H., Phan, M. H., Kim, C. O., 2007. Novel nanostructures and magnetic properties of Co-Fe-Hf-O films. *Nanotechnology* 18, 155705.
- [24] Wang, J. Y., Ghantasala M. K., Sood, D. K., Evans, P. J., 2005. Study of influence of underlayer on the properties of magnetron sputtered samarium cobalt thin films. *Thin Solid Films* 489, 192-199.
- [25] Fu, Y., Miyao, T., Cao, J. W., Yang, Z., Matsumoto, M., Liu, X. X., Morisako, A., 2007. Effect of Co underlayer on soft magnetic properties and microstructure of FeCo thin films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 308, 165-169.
- [26] Omar, M. A., 1993. *Elementary Solid State Physics: Principles and Applications*. ISBN:0-201-60733-6, Addison-Wesley Publishing Company, United States of America.

- [27] Cullity, B. D., Graham, C. D., 2009. Introduction to Magnetic Materials (2nd Ed.). ISBN: 978-0-471-47741-9, John Wiley & Sons, United States of America.
- [28] Spaldin, Nicola A., 2011. Magnetic Materials: Fundamentals and Applications. ISBN:13-978-0-511-90071-6, Cambridge University Press, United States of America.
- [29] Gözüak, F., “Synthesis and Magnetic Characterization of $\text{Co}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ Nanoparticles”, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2008.
- [30] Song, Q., “Size and Shape Controlled Synthesis and Superparamagnetic Properties of Spinel Ferrites Nanocrystals”, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, 2005.
- [31] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/HighSchool/Magnetism/electron-pairing.htm> (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [32] Göktaş, A., “Sol-Jel Metodu ile Manyetik Film Yapımı ve Karakterizasyonun İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2007.
- [33] Özdemir, A., “ $\text{R}_3\text{Co}_{29}\text{Si}_4\text{B}_{10}$ Bileşiklerinin Manyetik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2012.
- [34] Ersoy, F. Ö., “Magnetic and Structural Properties of Fe-Ni-Al Alloys”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011.
- [35] Bertotti, G., 1998. Hysteresis in Magnetism For Physicists, Materials Scientists, and Engineers, 1st Ed. ISBN: 9780120932702, Academic Press, United States of America.
- [36] http://www.geo.umn.edu/orgs/irm/hg2m/hg2m_b/hg2m_b.html (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [37] Akgün, E., “Nadir Toprak Elementli Bileşiklerin Manyetik, Yapısal ve Termal Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2007.
- [38] http://www.vectorsite.net/tpqm_04.html (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [39] Ünsal, T., “FePt Nanoparçacıkların Kimyasal Yöntem ile Sentezlenmesi ve Manyetik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.
- [40] Jiles, D. C., 2003. Recent advances and future directions in magnetic materials. Acta Materialia 51, 5907-5939.
- [41] Kittel, C., 1946. Theory of the Structure of Ferromagnetic Domains in Films and Small Particles. Phys. Rev. 70, 965-971.
- [42] Mathew, D. S., Juang, R-S., 2007. An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions. Chemical Engineering Journal 129, 51-65.

- [43] Auzans, E., Zins, D., Blums, E., Massart, R., 1999. Synthesis and properties of Mn-Zn ferrite ferrofluids. *Journal of Materials Science* 34, 1253-1260.
- [44] <http://www.mritutor.org/mritutor/superpar.htm> (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [45] Özen, Y., “Püskürtme Tekniği ile Elde Edilen TiO₂ Filminin Yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2010.
- [46] Ohring, M., 2002. *Materials Science of Thin Films: Deposition and Structure*, 2st Ed. ISBN: 0-12-524975-6, Academic Press, United States of America.
- [47] Başkurt, E., “Silisyum Karbür İnce Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010.
- [48] Ağırseven, O., “Silisyum Karbonitrür İnce Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011.
- [49] Yılmaz, T., “Saçtırma Tekniği ile Hazırlanan Kobalt İnce Filmlerinin Manyetik Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 2008.
- [50] Wasa, K., 2004. *Thin Film Materials Technology: Sputtering of Compound Materials*. ISBN: 0-8155-1483-2, William Andrew Publishing, United States of America.
- [51] Danışman, M., “Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Ni-Cr Alaşımlarının Gerinim Ölçerlerde Kullanımı ve Uygulanması”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011.
- [52] John P.I., (2005). *Plasma Sciences and the Creation of Wealth*. ISBN: 0-07-058557-1, Tata McGraw Hill Publishing, New Delhi.
- [53] <http://www.pvd-coatings.co.uk> (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [54] Mattox, D. M., 1998. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. ISBN: 0-8155-1422-0, Noyes Publications, Westwood, NJ.
- [55] Brauer, G., Szyszka, B., Vergöhl, M., Bandorf, R., 2010. Magnetron Sputtering – Milestones of 30 Years. *Vacuum* 84, 1354-1359.
- [56] Dao, A. V., Le, T., Tran, T., Nguyen, H. C., Kim, K., Lee, J., Jung, S., Lakshminarayan, N., Yi, J., 2009. Electrical and optical studies of transparent conducting ZnO:Al thin films by magnetron dc sputtering. *J Electroceram* 23, 356-360.
- [57] Martin, P. M., 2009. *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings*, Third Ed: Science, Applications and Technology. ISBN: 978-0815520313, William Andrew, United States of America.

- [58] Akdoğan, N., “İnce Filmlerde Manyeto-Optik Ölçümler”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2004.
- [59] Parker, S., 2009. Characterizing Properties of Magnetic Films Deposited on Silicon Wafers. *The Journal of Science and Health at The University of Alabama* 6, 39-42.
- [60] Graham, C. D., 2000. High-Sensitivity Magnetization Measurements. *J. Mater. Sci. Technol.* 16, 97-101.
- [61] http://layer.uci.agh.edu.pl/maglay/wrona/ang/podstrony/badan/badania/Rys_3.html (Erişim Tarihi: Haziran 2013).
- [62] Straver, E., ”Cantilever-Based Measurements on Nanomagnets and Superconductors”, Doktora Tezi, Stanford Üniversitesi, Uygulamalı Fizik Anabilim Dalı, 2004.
- [63] Rugar, D., Hansma, P., 1990. Atomic Force Microscopy. *Physics Today* 43, 23-30.
- [64] Sarid, D., 1991. *Scanning Force Microscopy*. ISBN: 0-19-509204-X, Oxford University Press, New York.
- [65] Weis, T., Krug, I., Engel, D., Ehresmann, A., Höink, V., Schmalhorst, J., Reiss, G., 2008. Characterization of magnetic force microscopy probe tip remagnetization for measurements in external in-plane magnetic fields. *Journal of Applied Physics* 104, 123503.
- [66] Juraic, K., Gracin, D., Djerdj, I., Lausi, A., Ceh, M., Balzar, D., 2012. Structural analysis of amorphous-nanocrystalline silicon thin films by grazing incidence X-ray diffraction. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 284, 78-82.
- [67] Stoev, K., Sakurai, A. K., 1997. Recent Theoretical Models in Grazing Incidence X-Ray Reflectometry. *The Rigaku Journal* 14, 22-37.
- [68] Birkholz, M., 2006. *Thin Films Analysis by X-Ray Scattering*. ISBN: 3-527-31052-5, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim.
- [69] Valdes, L. B., 1954. Resistivity measurements on germanium for transistors. *Proceedings of the IRE* 42, 420–427.
- [70] Hall, R. 1967. Minimizing errors of four-point probe measurements on circular wafers. *J. Sci. Instrum.* 44, 53–54.
- [71] Schroder, D. K., 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization*, 3rd Ed. ISBN: 0-471-73906-5, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [72] Van der Pauw, L. J. 1958. A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape. *Phil. Res. Rep.* 13, 1–9.
- [73] Moog, E. R., Bader, S. D., 1985. SMOKE signals from ferromagnetic monolayers: $p(1\times 1)$ Fe/Au(100). *Superlattices Microstructures* 1, 543-552.

[74] Buschow, K. H. J., 2005. Concise Encyclopedia of Magnetic and Superconducting Materials, 2nd Ed. ISBN: 0-08-044586-1, Elsevier, Netherlands.

[75] Kong, S. H., Okamoto, T., Nakagawa, S., 2003. Fe–Co–B/Ni–Fe Soft Magnetic Underlayer with High-Saturation Magnetization for Perpendicular Magnetic Recording Media. IEEE Transactions on Magnetics 39, 2285-2287.

[76] Kaygılı, Ö., “Sol Jel Metodu ile Üretilen Hidroksipatit Esaslı Biyoseramik Malzemelerin Mikroyapı ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2011.

[77] Akaltun, Y., “CdSe, ZnSe ve Cd_xZn_{1-x}Se Yarıiletken İnce Filmlerinin Sılar Tekniği ile Büyütülmesi Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, 2006.

[78] <http://www.rigaku.com/products/xrd/ultima> (Erişim Tarihi: Haziran 2013)

ÖZGEÇMİŞ

Genel Bilgiler

Adı Soyadı : Sinan DİKEN

Doğum Yeri : Sivas

Doğum Tarihi : 01/01/1987

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim : sinandiken@hotmail.com - http://sinandiken.com/



Eğitim Durumu (Okul, Mezuniyet Yılı, Şehir):

Lise : Vefa Poyraz Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, 2005, İstanbul

Lisans : Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik, 2009, Tokat

Yüksek Lisans : Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, Kilis.

Çalıştığı Kurumlar:

Araştırma Görevlisi Kilis 7 Aralık Üniversitesi 2010-...

İdari Görevler:

Mevlana Programı Koordinatörü (Fizik) Kilis 7 Aralık Üniversitesi 2012-...

Tez Kapsamındaki Yayınlar

[1] **Sinan Diken**, M. İbrahim Coşkun, Şükrü Çakmaktepe “Sputtered Co₉₀Fe₁₀ Thin Films; Effects of Au Underlayer Thickness on Magnetic and Structural Properties” 9. Türkiye Nanobilim-Nanoteknoloji Konferansı, 24-28 Haziran 2013, Erzurum. Poster.

[2] M. İbrahim Coşkun, **Sinan Diken**, Şükrü Çakmaktepe, “Sputtered Co₉₀Fe₁₀ Thin Films; Effects of Au Underlayer Thickness on Certain Magnetic and Electrical Properties” 9. Türkiye Nanobilim-Nanoteknoloji Konferansı, 24-28 Haziran 2013, Erzurum. Poster.