

TC
KILIS 7 ARALIK UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NiFeCr İNCE FİLM ALAŞIMLARIN MAGNETİK VE YAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖMER ÖZKAYA

DANIŞMAN: Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE

FİZİK ANABİLİM DALI

EYLÜL 2015
KİLİS

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NiFeCr İNCE FİLM ALAŞIMLARIN MAGNETİK VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer ÖZKAYA

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE

Yıl: 2015

Sayfa: 49

Bu tez çalışmasında, Cr_x 'la katkılanan $(Ni_{80}Fe_{20})_{1-x}$ alaşım nano filmleri DC magnetron sıçratma tekniği ile üretilmiştir. Cr katkılı $(Ni_{80}Fe_{20})$ alaşım nano filmlerinin yapısal, magnetik ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır.

Üretilen $(Ni_{80}Fe_{20})_{1-x}Cr_x$ filmlerinin yapı karakteristikleri XRD (X-ray Diffraction) ile magnetik özellikleri VSM (Vibrating Sample Magnetometer) ile yüzey topografyası AFM (Atomic Force Microscopy) ile elektriksel özellikleri ise dört nokta prop metodu ile incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan, Cr oranı arttıkça $(Ni_{80}Fe_{20})_{1-x}Cr_x$ alaşımın magnetikliğini kaybettiği, bununla birlikte koersivite değerinin yükseldiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnetik $(Ni_{80}Fe_{20})_{1-x}Cr_x$ film, Koersivite, sert mıknatıslık özellikleri

ABSTRACT

MSc. Thesis

ANALYSIS OF MAGNETIC AND STRUCTURAL PROPERTIES OF NiFeCr THIN FILM ALLOYS

Omer OZKAYA

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şukru CAKMAKTEPE

Year: 2015

Pages: 49

In the present thesis the $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ alloy films were deposited using DC magnetron sputtering technique. It was also investigated the structurel, magnetic and electrical properties of the sputter $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ alloy thin films.

The structural properties were investigated by XRD (X-ray Diffraction), the magnetic properties were investigated by VSM (Vibrating Sample Magnetometer) and the surface topography was investigated with AFM (Atomic Force Microscopy).

It was found from the results that as the Cr ratio increases, the $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ thin film alloys loses the ferromagnetic property.

Keywords: Magnetic $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ film, Coersivity, hard magnetic properties.

TEŞEKKÜR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Doç. Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Fizik bölümünde Öğretim Üyesi olan Doç. Dr. Abdurrahman ÇETİN ve Doç. Dr. Murat ODUNCUOĞLU hocalarıma bana geçen emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Eğitim öğretim hayatım boyunca hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Kilis 7 Aralık Üniversitesi Araştırma Projeler Birimince **2011/1/LTP 03** nolu proje ile desteklenmiştir. Teşekkürlerimi sunarım.

Ömer ÖZKAYA

Kilis, EYLÜL 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİ.....	vii
GRAFİKLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	7
2.1 Manyetik Maddelerin sınıflandırılması.....	7
2.2.Ferromanyetik Maddeler ve Manyetik Domenler.....	7
2.3 Domein Duvarı.....	9
2.4.Ferromanyetik maddelerin genel özellikleri	11
2.5 Histerisiz Çevrimi	12
3. METARYAL VE METOD.....	15
3.1 İnce Film Teknolojileri	15
3.2 İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	15
3.3 Sıçratma (Sputtering) Yöntemi	16
3.4 Titreşimli Örnek Magnetometresi	18
3.4 Deneysel Kısım	21
3.4.1 Numunelerin Hazırlanması	21
3.4.1.1 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₈ Cr ₂ Filminin üretimi	22
3.4.1.2 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₆ Cr ₄ Filminin üretimi	23
3.4.1.3 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₄ Cr ₆ Filminin üretimi	23

3.4.1.4 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₂ Cr ₈ Filminin üretimi	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	24
4.1 Magnetizasyon Ölçüm Sonuçları	24
4.2 XRD Analiz Sonuçları	26
4.3 Numunelerin I-V analizleri.....	31
4.4 Numunelerin AFM analizleri	31
5. SONUÇ	33
KAYNAKLAR	34

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A : Amper

Å : Angström

B : Manyetik alan şiddeti

S: Spin

H_c : koersivite

i : Akım şiddeti

J : Akım yoğunluğu

q : Yük

T : Periyot

h: Planck Sabiti

v: Çizgisel Hız

v: Açısal Hız

λ : Dalgaboyu

μ: Magnetik Moment

M : Manyetizasyon

m : Kütle

χ : Manyetik alınganlık

2. Kısaltmalar

AC : Alternatif akım

AFM : Atomik kuvvet mikroskopyu

DC : Doğru akım

MFM : Manyetik kuvvet mikroskopyu

MOKE : Manyeto-Optik Kerr etkisi

TEM : Geçirmeli elektron mikroskopyu

VSM : Titreşimli örnek manyetometresi

XRD : X-ışını kırınımı

M_r : Doyum Magnetizasyonu

M_s: Kalıcı Magnetizasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.2.1. Birbirilerine paralel olacak şekilde yönelim sergileyen atomik manyetik dipol momentler.....	7
Şekil 2.2.2 Malzeme içinde görülen manyetik domenler.....	8
Şekil 2.2.3. (a) Mıknatıslanmamış bir maddede rastgele yönelmiş manyetik dipol momentler (b) Bir B_0 dış alanı uygulandığında dipol momentlerin alan yönünde yönelimi.....	8
Şekil 2.2.4 Maddeye göre elektron spinlerinin sıralanış düzenleri.....	9
Şekil 2.3.1 (a) Domenler ve domen duvarı (b) Domen duvarları.....	9
Şekil 2.3.2 (a) Dış manyetik alan uygulanmadığında domen duvarları (b) Dış alan uygulandığında domen duvarlarının hareketleri.....	10
Şekil 2.3.3 (a) Bloch duvarı , (b) Neel duvarı	10
Şekil 2.3.4 Gd ₁₆ Fe ₈₃ den elde edilen malzemelerin domenlerinin dış manyetik alana karşı davranışları	11
Şekil 2.3.5 Manyetik malzemelerin manyetik domenlerinin -27 ,0 ve 26 Oe 'lik dışarıdan uygulana manyetik alan etkisinde bırakıldığında manyetik domenlerinin davranışları.....	11
Şekil 2.5.1 Histerisiz çevrimine ait genel özellikler.....	12
Şekil 3.3.1 Sıçratma (Sputtering) cihazının şematik görünüşü.....	17
Şekil 3.4.2 VSM Sistemi.....	19
Şekil 3.4.1 Dc Magnetron Sıçratma Mekanizması.....	21

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 4.1.1 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₈ Cr ₂ Numunesine ait histersiz eğrisi.....	24
Grafik 4.1.2 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₆ Cr ₄ Numunesine ait histersiz eğrisi.....	25
Grafik 4.2.1 (NiFe) ₈ Cr ₂ Numunesine ait XRD grafiği.....	26
Grafik 4.2.2 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₆ Cr ₄ Numunesine ait XRD grafiği.....	27
Grafik 4.2.3 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₄ Cr ₆ Numunesine ait XRD grafiği.....	27
Grafik 4.2.4 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₂ Cr ₈ Numunesine ait XRD grafiği.....	28
Grafik 4.3.1. Akım gerilim grafiği.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.4 Sıçratma parametreleri	22
Çizelge 4.2.1 Ni ₈₀ Fe ₂₀ yapısındaki(111) düzlemi için hesaplanan tanecik boyutları.....	29

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.4.1 VSM Resmi.....	18
Resim 4.3.1 I- V Ölçüm cihazı resmi.....	30
Resim 4.4.1 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₈ Cr ₂ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.....	31
Resim 4.4.2 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₆ Cr ₄ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.....	31
Resim 4.4.3 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₄ Cr ₆ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.....	32
Resim 4.4.4 (Ni ₈₀ Fe ₂₀) ₂ Cr ₈ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.....	32

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe gelişim gösteren bilişim teknolojileri yüksek kapasiteye sahip, hızı yüksek boyut bakımından ise daha küçük manyetik kayıt cihazları tasarlama ihtiyacı duymuştur. Bu gibi gelişmiş cihaz tasarımının iyileştirilmesine yönelik manyetik malzemeler ile hazırlanan ince film malzemeler yakın zamanlarda çok çalışılan alanlarından biri olmuştur [1].

Manyetik filmler üzerinde yapılan ilk çalışmalar 1880’de başlamasına rağmen, konunun güncelliği ve değişik kaplama tekniklerinin geliştirilmesi ile son yıllarda araştırmalar çok hızlı bir şekilde artmıştır. Bu hızlı artışın temel nedeni manyetik filmlerin teknolojiye manyetik hafıza kartı, manyetik alan dedektörü olarak kullanılması ve üretim için bazı yeni tekniklerin geliştirilmesiydi. Magnetik malzemeler üzerindeki çalışmalar mıknatıslık özelliğine sahip elementler ve alaşımları üzerinde şekillenmektedir. Demir(Fe), Nikel(Ni), Kobalt(Co) oda sıcaklığında mıknatıslandığında çevrelerinde güçlü bir magnetik alan oluşturan üç magnetik elementtir. Hard disklerde ve yazıcı/okuyucu kafaların yapısında bu elementler ve alaşımları kullanılmaktadır. Kobalt(Co) daha çok harddisk dizaynında kullanılırken, magnetik yazıcı/okuyucu kafalarda NiFe alaşımları tercih edilmektedir. Bunun sebebi NiFe alaşımlarının koerzivitelerinin küçük olmasıdır. Şu an kullanılan ticari yazıcı/okuyucu kafalarda koerzivite değeri yaklaşık 1-2 Oe mertebesindedir.

Manyetik ince film yapımında demir grubu olarak adlandırılan metal (Ni, Co ve Fe) alaşımlarının elde edilmesine yönelik çalışmaların son otuz yılda yoğunluk kazandığı gözlemlenmektedir. Demir grubu alaşımların üzerinde yoğun çalışılması manyetik ve termofiziksel yararlılıklarına bağlı endüstride önemli kullanım alanlarıdır. Tarihsel süreçte bakıldığında maliyet açısından kobaltın maliyetinin nikel ve demire göre yüksek olmasından dolayı öncelikli olarak NiFe alaşımı üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Demir grubu metal alaşımlarından en yaygın olarak tanınanı permalloy($Ni_{80}Fe_{20}$) olarak adlandırılan alaşımdır [2]. Elektrokaplama tekniğiyle üretilen Permalloy alaşımı, IBM tarafından 1979 yılında indükleyici kafa (inductive head) için ana malzeme (core material) olarak kullanılmıştır. Permalloy dışında, diğer

bir kaplama yöntemi olan elektrolitik kaplama yöntemi ile üretilen ikili NiFe alaşımları da uzun yıllardan beri bilgisayar ve elektronik sektöründe hafıza ve kaydedici cihazlarda kullanılmaktadır [3-4]. Nikeldemir ikili alaşımları genel kullanım alanları bakımından çeşitlilik görülmektedir. Örneğin; Rhometal (ağırlıkça %36 Ni, %64 Fe) alaşımı, yüksek direnç özelliği sebebiyle yüksek frekans bobinlerinde kullanılmakta iken; Hipernik (ağırlıkça %50 Ni, %50 Fe) maksimum toplam manyetik enerji (saturation magnetization) miktarı özelliğine sahip olmasından dolayı manyetik yükselteçlerde (magnetic amplifier) ve bobinlerde; manyetik geçirgenliği (permeability (μ)) değerlerinin yüksek olduğu Permalloy ve Supermalloy (ağırlıkça %79 Ni, %15 Fe, %6 Mo/Mn) ise transformatörlerde, yüksek verimli bobinlerde, manyetik yükselteç bobinlerinde, manyetik ekranlama sistemlerinde, darbeli transformatörlerde kullanılmaktadırlar [5]. Son dönemlerde NiFe alaşımları yukarıdaki kullanım alanlarının yanında optik anahtarlarda, yüksek çözünürlüklü televizyon tüplerinde, anot olarak alkali su elektrolizinde de uygulama alanı bulmuşlardır [6-7]. Elektronik sanayinin gereksinimlerini karşılamak için istenen özelliklere sahip NiFe alaşımlarını, elektrokaplama yöntemi ile elde edebilmek için farklı kaplama banyoları ve operasyon parametrelerini (banyo sıcaklığı, akım yoğunluğu, dc akım, pulse akım vb.) kapsayan çalışmalar yirminci yüzyılın ikinci yarısında sıkça yapılmıştır [8-9]. Bu araştırmaların yanı sıra elektronik sektörünün artan taleplerine paralel olarak daha iyi manyetik özelliklere sahip olacağı düşünülen demir grubu elementlerinin diğer ikili ve üçlü alaşımlarına yönelinmiştir [10-11]. Üçlü demir grubu (NiCoFe) metal alaşımının Co'ca zengin olması halinde $Ni_{80}Fe_{20}$ alaşımına göre daha yüksek doyum magnetik akı yoğunluğu (saturation magnetic flux density) (B_s) ve daha düşük koerzivit (coercivity) (H_c) değerine sahip olduğu, dolayısıyla yüksek yoğunluklu kaydediciler için daha hassas manyetik ince film kafaların gelişiminde kullanılabilir oldukları yapılan çalışmalar ile bulunmuştur [11-12]. Üçlü alaşımların Fe'ce zengin olduklarında ise düşük termal genleşme özelliği göstermeleri ve bu özelliklerinden dolayı da uzay araçlarındaki optik aksamlarda, lazer yuvalarında ve yazıcı kafalarında kullanıldıkları yapılan literatür çalışmalarında görülmüştür [13-14]. Araştırmacılar tarafından, yazıcı kafa uygulamalarında kullanılmak amacıyla geliştirilen üçlü demir grubu alaşım filmlerinin iç gerilmelerini azaltabilmek, tabana daha iyi yapışmasını sağlamak ve iç gerilmelere bağlı olarak manyetik özelliklerinin en aza indirilebilmesi için kullanılan

elektrolite farklı ilaveler yapılmıştır. Ancak elektrot yüzeyine adsorbe olan ilavelerin varlığı sonucunda taban üzerinde oluşan filmin içinde, elektrolite katılan ilaveye bağlı olarak, kükürt ya da karbon içeren safsızlıkların varlığı filmin mikro yapısını ve manyetik özelliklerini etkilemenin yanı sıra korozyon direncini de azaltmıştır [15-16]. Demir grubu alaşımların özelliklerini geliştirmek için değişik banyo bileşimi ve operasyon şartları üzerinde yapılan araştırmalara ek olarak Cu, P gibi elementlerin söz konusu sistemlere ilave edilmesi yönünde de çalışmalar bulunmaktadır [17-18]. Bu alaşımlara B elementinin ilavesi ile ilgili araştırmalar ise sınırlı sayıdadır. Borun alaşım elementi olarak kullanıldığı çalışmalar çok farklı araştırma konularına yönelik olmuştur. Örneğin; yapılan çalışmaların bir kısmı manyetik hafızalardaki bellek kapasitesini arttırmaya [19-20] odaklanmışken diğer bir bölümü de suyun elektrolizi ile ilgili çalışmalarına yönelik olmuştur [21]. Sonuç olarak, günümüz teknolojisinin gereksinimlerinin karşılanması için daha çok bilgiyi çok daha küçük alanlara depolamak hedeflenmektedir ki bu nedenle Ni₈₀Fe₂₀ ikili alaşımlarına alternatif olarak daha yüksek doyurma akış yoğunluğu ve daha düşük manyetik enerjiyi koruyabilirlik değerlerine sahip CoNiFe gibi yeni yumuşak manyetik malzemeler üzerinde farklı çalışma grupları araştırmalar yapmaya devam etmektedir [22-23]. Termodinamik açıdan bakıldığında bu üç metal arasında en soy olanı Ni'dir. Birçok araştırmacı, anormal kaplama davranışı sergileyen demir grubu alaşımların bileşimlerini, iç gerilmelerini, tane boyutunu kontrol edebilmek amacıyla doğru akım (DC) ile kaplama yerine yüksek pik akım yoğunluğuna sahip darbeli akım kullanmayı tercih etmişlerdir [24-25]. Tuenge ve arkadaşları, alaşımın bileşimini ve iç gerilmeleri kontrol edebilmek adına farklı ton-toff kombinasyonlu darbeli akım kullanmışlar ve işlem süresi (duty cycle(8)) değerinin alaşımın iç gerilmesini kontrol ettiğini bulmuşlardır [26]. Cherkaoui ve arkadaşları ise kısa işlem süresi ve yüksek katodik pik akım yoğunluklu darbeli akım ile yaptıkları alaşım kaplamalarda DC kaplamaya nazaran yüzey pürüzlülüğü daha az ve korozyon direnci daha yüksek alaşım kaplamalar elde etmişlerdir [27].

Manyetik filmlerin geliştirilmek istenen özelliklerinin yakalanabilmesi için, birkaç nanometre boyutunda ince yapıya sahip üretim, çok tabakalı yapıların kullanımı, farklı özelliklerde üretim tekniklerinin kullanılması, farklı malzemelerin kombinasyonunun kullanılması gibi çalışmaların literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi geniş bir yer

bulduğu anlaşılmaktadır. [33-34-35]. Bu tasarlanan manyetik ince filmler manyetik kayıt cihazları, bilgisayar hard diskleri, okuma-yazma kafaları, manyetik sensörlerin tasarlanması vb kullanım alanı vardır [28]. Manyetik ince filmlerden yapılan okuma yazma kafaları, yüksek kapasite ve yüksek hıza sahip bilgisayarların geliştirilmesinde kullanılan hard disklerde yararlanılan önemli parçalar arasındadır. Manyetik doyum noktası yüksek ve koerzivitesi düşük yumuşak mıknatıslık özelliklerini bünyesinde barındıran manyetik okuma-yazma kafaları üzerine yapılan çalışmalar, yeni yüksek kapasiteye sahip kayıt cihazları geliştirilmesi için en önemli aşamalardan biridir. Her geliştirilen artan kapasiteli manyetik kayıt cihazları için birçok araştırmacı bilim adamı, yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler geliştirmeye çalışmaktadır [29-30].

Bir manyetik okuma-yazma kafası geliştirirken yüksek kapasiteli olmasının yanı sıra koerzivite değerinin düşük ve manyetik doyumunun yüksek olması gibi özelliklerine de sahip olması gerekir. Klasik okuma-yazma kafalarda permalloy olarak adlandırılan polikristal $Ni_{81}Fe_{19}$ tercih edilmektedir. Bunun nedeni NiFe' in düşük koerzivite ve manyetik doyum değerinin yüksek olduğu yumuşak mıknatıslık özelliği sayesinde. Hızı ve kapasitesi yüksek manyetik kayıt cihazlarının geliştirilebilmesi konusunda yapılan araştırmalarda Fe ve Co içeren ince filmlerin üzerinde yakın zamanlarda oldukça çok çalışma yapılmaktadır[31,32]. Genel olarak Fe ve Co içeren malzemelerin geçirgenliklerinin ve doyum mıknatıslanma değerinin yüksek, anizotropilerinin düşük olması bakımından manyetik özellikleri uygun olmakla birlikte koerzivitelerinin yüksek olması nedeniyle bu alanda kullanımı için bir engeldir.

Cihazların kayıt performansını arttırmak ile ilgili yapının makro manyetik özelliklere sahip olması ve kayıt kapasitesinin artırılıp bilgi depolama alanına sahip olması için ferromanyetik özellik gösteren metal alaşım filmlerinin değişik yöntemler kullanılarak hazırlanması gerekmektedir [35]. Üretilen bu numunelerin temel özelliklerini tanımlada kullanılmakta olan “*izotropik*” ve “*anizotropik*” gibi kavramlar malzeme bilimi açısından oldukça önemli kavramlardır. Bir numunenin bütün kristiyografik yönlerde malzemeye ait fiziksel özelliklerin aynı olduğu görülüyor ise “*izotropik*” eğer numunenin bütün kristiyografik yönlerde malzemeye ait fiziksel özelliklerin aynı olmadığı görülüyor olması ise “*anizotropik*” kavramı ile açıklanmaktadır [36,37].

Polikristal numunelerdeki ve filmlerdeki anizotropi, numunelerinin üretim şartlarından ve üretim esnasında yüzeyinde oluşan doku desenlerindeki farklılıklarda kaynaklanabilmektedir. Metal ve alaşımların birçoğu izotropik davranış göstermesine karşı, bazı çalışmalarda çok önemli anizotropik davranış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [38,39]. Hazırlanan numunelerin izotropikmi yoksa anizotropik özellikmi sergilediği Titreşimli Örnek Manyetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) ve Manyeto Optik Kerr Etki (Magneto Optic Kerr Effect, MOKE) tekniklerden biri veya birkaçını kullanılıp belirlenmektedir. Her iki ölçüm yönteminde de numuneye $0^\circ - 90^\circ$ arası değişen açı altında manyetik alan uygulanıp histerisiz eğri ölçümü yapılır. Bu ölçümlerde doyum manyetizasyonu M_r nin kalıcı manyetizasyon M_s oranları (M_r / M_s) (squarness) sabit kalıyor ise bu numune "*izotropik*" özellik gösteriyor, eğer değişik açılarda M_r / M_s değişiklik gösteriyorsa "*anizotropik*" yapıya sahiptir [40,41].

Numunenin yüzey dokusu belirlenirken de farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar arasında en yaygın kullanılanlar X Işını Kırınımı (X Ray Diffraction, XRD) ve Tarama Elektron Mikroskobu sayılabilir. Daha nitelikli analizler için Laue Fotograflama Tekniği, X Işını Kırınımı veya Polarize Mikroskobu kullanılarak yapılabilmektedir. Nötron ve X Işını Kırınımı Cihazı bulk yüzeyini incelemek için de uygundur [42,43].

Miyazaki ve Ajima, $Ni_{82}Fe_{18}$ alaşımlarına safsızlık oranlarında katılan Mn, Co, Cr ve Cu elementlerinin alaşımların anizotropik magneto dirençlerinde meydana getirdiği değişiklikleri araştırmışlardır. Mn, Cr, ve Cu elementlerinin safsızlık miktarınca NiFe alaşımına katılmasının kalıcı mıknatıslık değerinde güçlü bir düşüşe neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, Cu, Cr, Mn ve Co ilavelerinin anizotropik magneto direnci de azalttığı sonucuna ulaşmışlardır [44].

Hoshino vd. elektro kimyasal depolama yöntemi ile ürettikleri NiFeCr ve NiFeMo alaşımlarının magnetik özelliklerini ve termal kararlılıklarını incelemişlerdir. %2 Cr ve Mo içerecek şekilde depoladıkları 3 μm kalınlıklı filmlerde Cr ve Mo katkısının NiFe öz dirençlerini 45 $\mu\Omega$ 'dan 60 $\mu\Omega$ 'a çıkardığını, bununla birlikte magnetik akı yoğunluğunun 1.6 T 'dan 1.5 T'ya gerilediğini izlemişlerdir. Sonuç itibarı ile Cr ve Mo ekledikleri NiFe alaşımlarının yüksek dirence, yüksek magnetik akı yoğunluğuna sahip

olduklarını ve yüksek frekanslarda kayıt yapabilecek yazıcı kafalar için uygun materyaller oldukları belirtmişlerdir [45].

Lee vd., alttabaka olarak kullandıkları $(\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19})_{1-x}\text{Cr}_x$ alaşımının sıçratma metodu ile üretilmiş permalloy alaşımının magneto direncinde meydana getirdiği değişiklikleri incelemişlerdir. 30-50 Å kalınlığa sahip olacak şekilde ürettikleri $(\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19})_{1-x}\text{Cr}_x$ ($x=0.4$) alt tabaka alaşımların, permalloyda düşük anizotropik magneto dirence neden olduklarını göstermişlerdir. Çalışmalarında ayrıca, $x\sim 0.25$ oluğunda alaşımların magnetik özelliklerini kaybettiklerini bulmuşlardır [46].

Yang vd., $(\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19})_{1-x}\text{Cr}_x$ ($x=0.34$) alttabaka üzerine sıçratma metodu ile depoladıkları permalloy filmlerde meydana gelen mikro yapı ve anizotropik magneto direnç değişimlerini incelemişlerdir. NiFeCr alaşımı magneto direnç etkisine sahip olmayıp çok zayıf paramagnetizm sergilemektedir. Bununla birlikte Ta elementi ile karşılaştırıldığında NiFeCr alaşımının NiFe alaşımına kristal yapı olarak daha çok benzediklerini ve bu nedenle permalloyda daha büyük tanelerin oluşmasına imkan vereceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında ayrıca NiFeCr alaşımının daha yüksek öz dirence sahip olduklarını belirlemişlerdir[46].

$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (permalloy) alaşımı yumuşak bir magnetik malzeme olup yazıcı okuyucu kafalarda tercih edilmektedir. Gelişmiş depolama sistemlerinden sıçratma metodu daha homojen depolama yapabildiğinden dolayı mikro elektronik uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ ($x= 2, 4, 6, 8$) alaşımları magneto sıçratma metodu ile üretilerek, magnetik ve yapısal olarak karakterize edilmişlerdir. Depolanan filmlerin yapı-karakteristikleri XRD ile incelenmiş I-V ölçümleri dört nokta prop yöntemi ile, magnetik özellikleri VSM ve yüzey topografyası ise atomik kuvvet mikroskobu(AFM) ile incelenmiştir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Manyetik Maddelerin sınıflandırılması

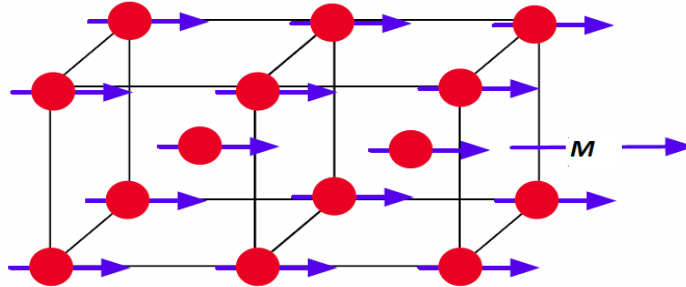
Michael Faraday (1791-1867)' in yaptığı çalışmalarda tüm maddelerin, manyetik alanda manyetik alana bir tepki gösterdiğini ve bu tepkilerin farklı oluşuna bakarak maddeleri üç ayrı grupta toplamanın mümkün olacağını ifade etmiştir. Bu gruplar diamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik madde şeklindedir.

Paramanyetik ve diyamanyetik maddeler için maddeyi oluşturan atomların manyetik momentlerinin yönelimi birbirinden bağımsız olup dış bir manyetik alan uygulanmadığında toplam manyetik momentleri sıfırdır. Paramanyetik maddelere dışarıdan manyetik alan etki ettiğinde her bir manyetik momentlerinin üzerlerine bir tork etkisi olur. Bu sayede paramanyetik maddelerin bütün atomlarının sahip olacağı manyetik momenti dışarıdan uygulanan manyetik alanla aynı olacak şekilde yönelmekte ve büyük bakımından uygulanan manyetik alanın büyüklüğü ile orantılı olmaktadır.

Diamanyetik maddelerin üzerine dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında, uygulanan alanın tersi yönde sıfırdan farklı bir manyetik momente sahip oldukları görülmektedir.

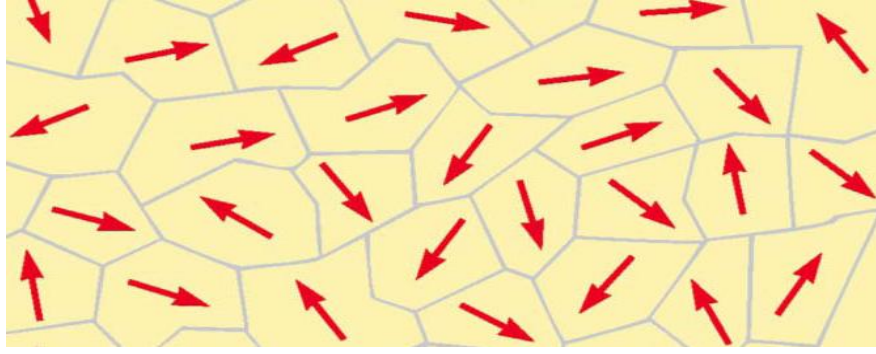
2.2.Ferromanyetik Maddeler ve Manyetik Domenler

Ferromanyetik özelliğe sahip madde zayıf da olsa dış manyetik alan içine konulsa bile Şekil 2.2.1 deki gibi birbirilerine paralel olarak yönelim sergileyen dipol momentlere sahiptirler.

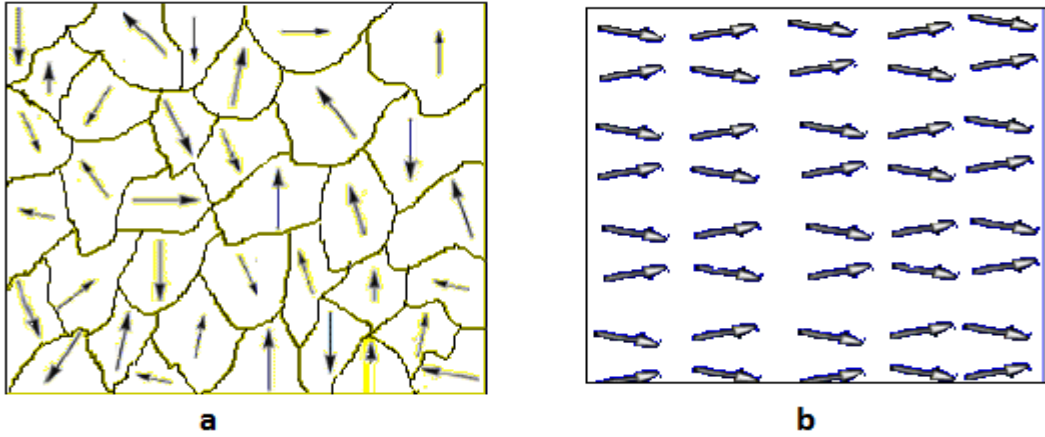


Şekil 2.2.1. Birbirilerine paralel olacak şekilde yönelim sergileyen atomik manyetik dipol momentler

Bu momentler birbirine paralel hale geldikten sonra, maruz kaldıkları dış manyetik alan ortadan kalksa dahi ferromanyetik madde mıknatıslık özelliğini kaybetmeyecektir. Bu şekilde sürekli yönelimin sebebi komşu olan manyetik momentlerin arasında var olan kuvvetli etkileşimdir. Bu kuvvetli etkileşim sonucu Şekil 2.2.2 de de görüldüğü üzere ferromanyetik madde içerisinde manyetik momentleri aynı yönelime sahip olabilen bölgeler meydana gelmektedir ve bu bölgeler manyetik domen olarak isimlendirilmektedir[48,49].



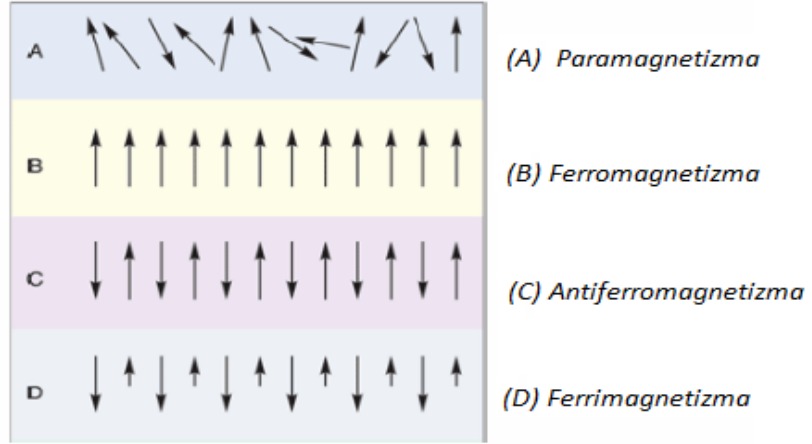
Şekil 2.2.2 Malzeme içinde görülen manyetik domenler



Şekil 2.2.3. (a) Mıknatıslanmamış bir maddede rastgele yönelmiş manyetik dipol momentler (b) Bir B_0 dış alanı uygulandığında dipol momentlerin alan yönünde yönelimi

Maddelerin magnetik momentleri birbirine eşit ve yönelimleri ikili gruplar halinde birbirine zıt olacak biçimde gerçekleşmişse, bu maddeler sıfır magnetik momente sahip olacaktır. Bu şekildeki maddeler anti-ferromagnetik maddeler olarak adlandırılır. Grupların magnetik momentleri eşit değilse birbirlerine göre zıt yönde yönelmiş olsalar

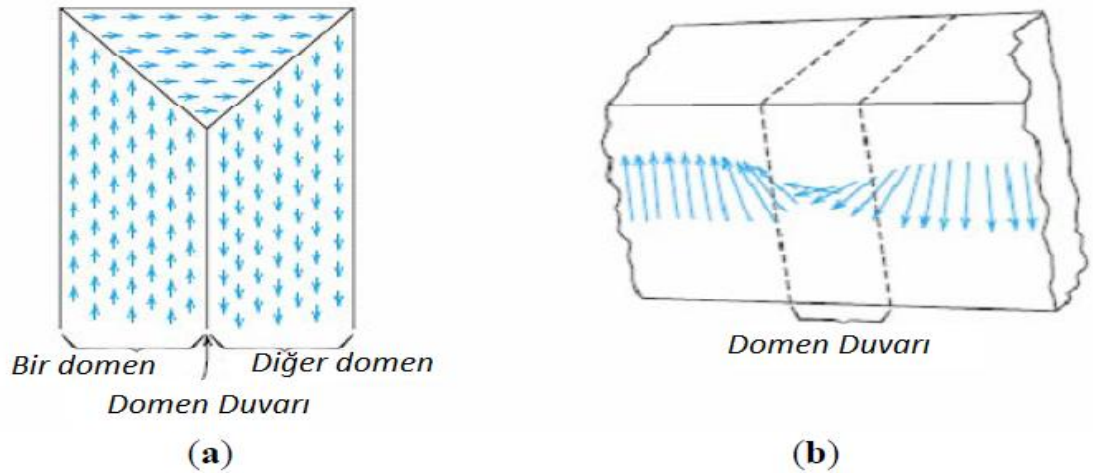
bile net bir bileşke momente sahip olurlar bu tür maddelere de ferrimagnetik maddeler denir. Magnetik maddelerin spin düzeni Şekil 2.2.4' teki gibidir.



Şekil 2.2.4 Maddeye göre elektron spinlerinin sıralanış düzenleri

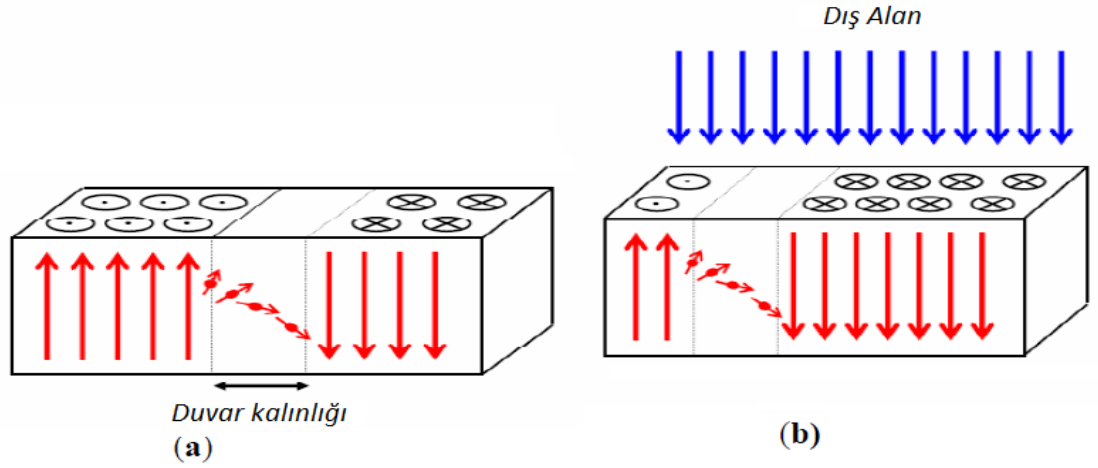
2.3 Domein Duvarı

Domen bölgelerinin yaklaşık olarak hacimleri $10^{-12} - 10^{-8} \text{m}^3$ olup, her bir domen $10^{17} - 10^{21}$ civarında atom içerebilmektedir. Farklı yönelimlere sahip domenlerin arasındaki sınırlara domen duvarları denir. Şekil 2.3.1 de bu domen duvarları gösterilmiştir.



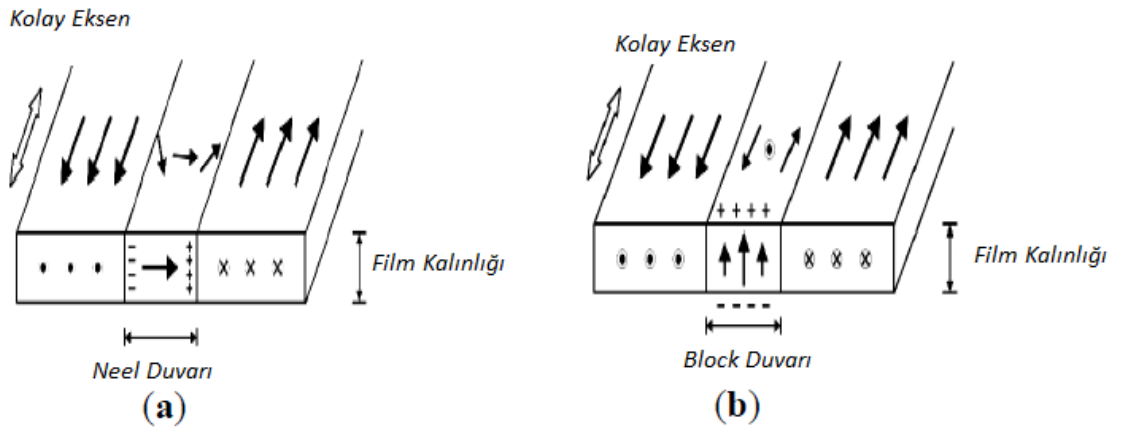
Şekil 2.3.1 (a) Domenler ve domen duvarı (b) Domen duvarları

Bu domen duvarları bir dış alanla hareket ederler ve enerji yüklüdür. Dış bir manyetik alana maruz kalan domen duvarının davranışı Şekil 2.3.2 de gösterilmektedir.



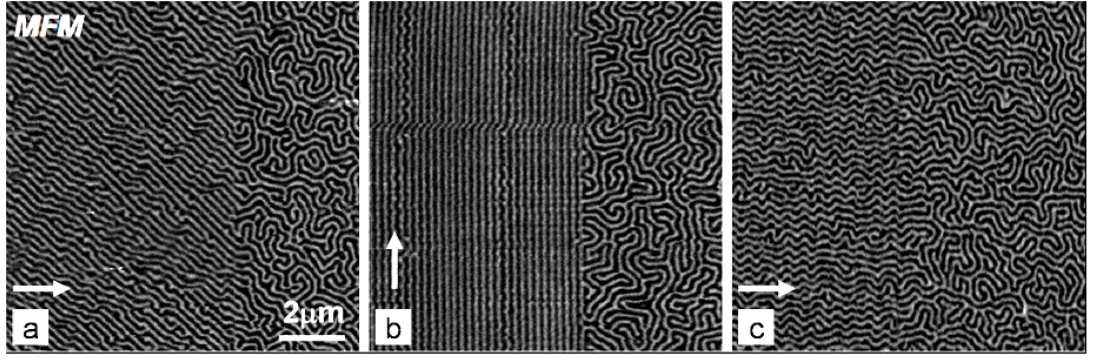
Şekil 2.3.2 (a) Dış manyetik alan uygulanmadığında domen duvarları (b) Dış alan uygulandığında domen duvarlarının hareketleri

Domen duvarları için geliştirilen modeller Bloch ve Neel duvarı modelleridir. Şekil 2.3.3 da bu modellemeler görülmektedir.

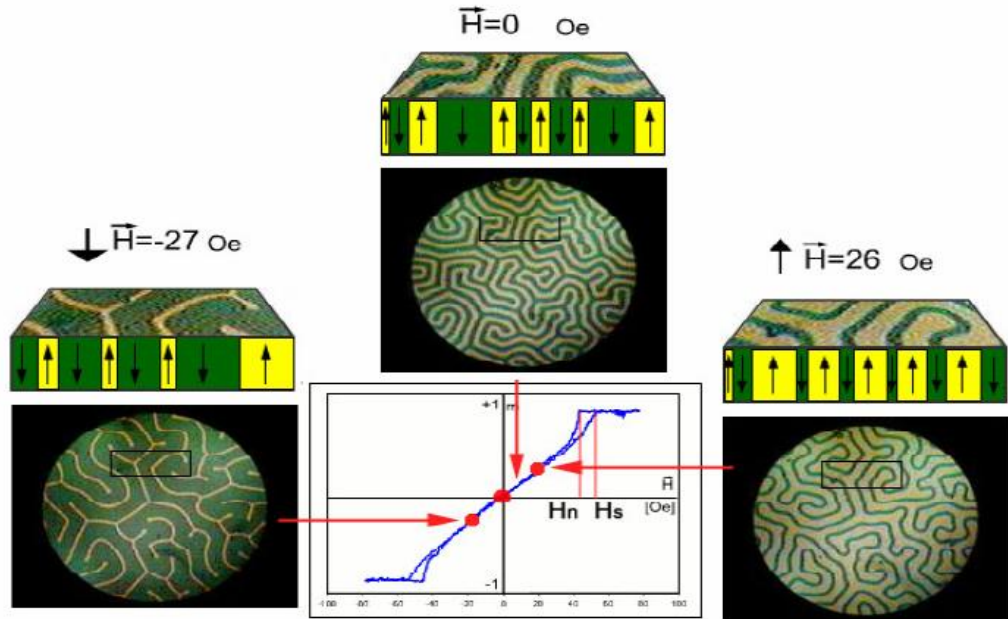


Şekil 2.3.3 (a) Bloch duvarı , (b) Neel duvarı

Mıknatıslanmamış maddeler içinde domenler toplam manyetik momentleri sıfır olacak şekilde birbirinden farklı yönlere rasgele yönelir, dış bir manyetik alan uygulandığında da uygulanan bu manyetik alanla farklı yönde olan bütün dipollerin üzerine bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvet, Şekil 2.3.4 , Şekil 2.3.5 de görüldüğü gibi atomların manyetik dipollerini uygulanan alan yönünde döndürür.



Şekil 2.3.4 Gd_{16.7}Fe_{83.3} den elde edilen malzemelerin domenlerinin dış manyetik alana karşı davranışları



Şekil 2.3.5 Manyetik malzemelerin manyetik domenlerinin -27 ,0 ve 26 Oe 'lik dışarıdan uygulana manyetik alan etkisinde bırakıldığında manyetik domenlerinin davranışları

2.4.Ferromanyetik maddelerin genel özellikleri

Ferromanyetik malzemeleri beş temel özelliğinden bahsetmek mümkündür.

- i- Bağıl manyetik geçirgenlikleri, manyetik alan şiddetinin değerine, malzemeye daha önce uygulanan manyetik işlemlere ve malzemenin cinsine göre değişkendir.
- ii- Bağıl manyetik geçirgenlikleri 1' den çok büyük bir değere sahiptir.
- iii- Paramanyetik ve diamanyetik maddeler için B manyetik akı yoğunluğu ile H alan şiddeti arasında doğrusal bir ilişki vardır, ferromanyetik malzemeler için bu ilişki doğrusal değildir.

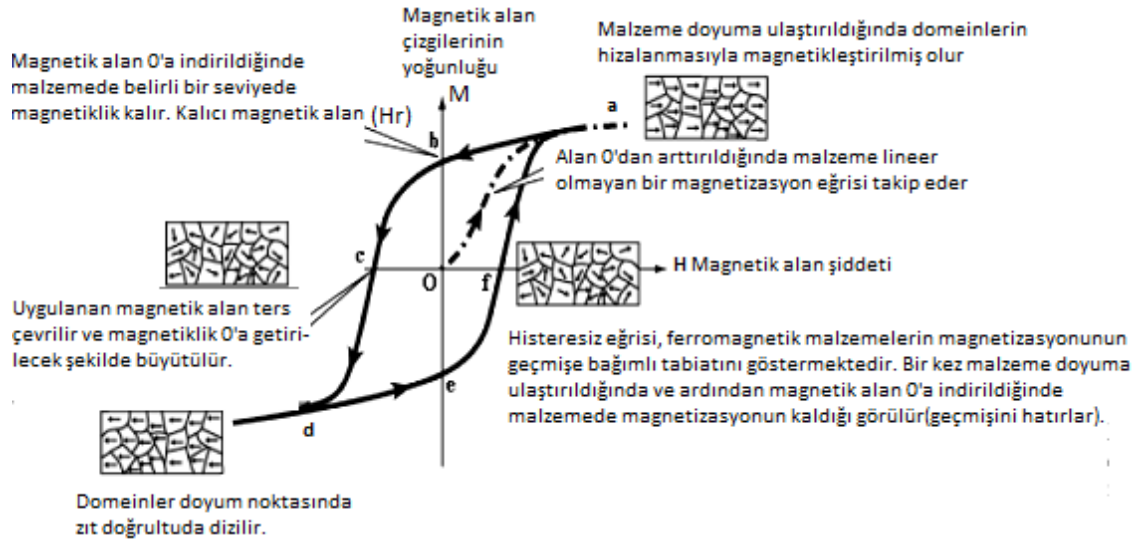
iv- Manyetik histerisize sahiptir.

v- Curie sıcaklığı üzerinde ferromanyetik maddeler paramanyetik malzeme durumuna geçerler [48].

2.5 Histerisiz Çevrimi

Bir maddenin mıknatıslanma eğrisi, malzemenin domen yapıları ve davranışları hakkında bilgi vermektedir. Şekil 2.5.1.de görülen bu eğriye "*histerisiz eğrisi*" (**histerisiz çevrimi**) denir.

Mıknatıslık özelliğini tamamen kaybetmiş olan bir malzemeye sürekli değişen bir dış manyetik alan uygulandığında , bu dış alan ile akı yoğunluğu ölçülüp histerisiz eğrisi çizilebilir. Çizilen bu histerisiz eğrisinde dikey eksen **M**, malzemenin akı yoğunluğunu, yatay eksen **H** ise uygulanan dış manyetik alanın şiddetini gösterir. Uygulanan manyetik alan şiddeti arttırıldıkça, akının yoğunluğunda önce hızlı bir şekilde, doyum noktasına ulaşıncaya kadar ise azalan bir artış gösterir. Doyuma ulaşıttktan sonra manyetik alan şiddetinin arttırılmaya devam etmesi akı yoğunluğunun değişimine sebep olmaz. Şekil 2.5.1 de akı yoğunluğunun yükselişi noktalı kısa çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1 Histerisiz çevrimine ait genel özellikler

Şekil 2.5.1 deki Histeresis eğrisinin temel özellikleri aşağıda maddelerle özetlenmektedir.

i-Uygulanan manyetik alanın şiddeti ters yönde azalarak **0** ' a kadar düşürüldüğünde H_r noktasında malzemede bir miktar mıknatıslık kaldığı görülüyor. Bu kalıntıya artık mıknatıslık (**remanans**) denir.

ii-Mıknatıslanma akımı ters uygulanarak yavaşça **0** ' a kadar azaltıldığında malzemedeki akı yoğunluğu da azalır. Bu sırada artık mıknatıslık(remanans) (**c**) noktasında **0** olur. Yatay eksen üzerindeki mesafe **koersivite** olarak adlandırılır.

iii- Koersivite, mıknatıslanan malzemelerin manyetik akı yoğunluğunu **0** ' a indirgeyebilmek uygulanması gereken dış manyetik alan şiddeti değerine denir. Bu ters uygulanan mıknatıslanma akımı arttırılmaya devam ederse malzeme mıknatıslık bakımından tekrar doyum noktasına ulaşır.**(d)**

iv-Manyetik alan şiddeti tekrar yavaş bir şekilde **0** ' a kadar düşürülürse, akı yoğunluğunda da bir miktar azalma görülür **(e)**.

v-**(e)** noktasında malzemede bir miktar artık mıknatıslanma görülür.

vi-Uygulanan dış manyetik alanın şiddeti ilk yönde düzgün bir şekilde arttırılmaya devam ederse artık akı yoğunluğunda da azalma olur ve **(f)** noktasında **0** olur.

vii-**(f)** noktasından sonra manyetik alanın değeri düzgün olarak arttırılırsa başlangıç doyum noktasına **(a)** ulaşır [50].

Çizilen bu histerisiz eğrilerinden malzemeye ait şu bilgilere ulaşılabılır;

i- Histerisiz eğrisi çok ince manyetik filmlerde, yaklaşık olarak kareye benzer bir şekil

alır. $\frac{M_r}{M_s}$ ifadesi, histerisiz eğrisinin kareselliği olarak adlandırılır. Eğer $\frac{M_r}{M_s}$ oranı 1'e

yaklaşırsa eğri karesel şekil alır.

ii-Histerisiz eğrisinin alanı küçüklürse manyetik geçirgenlik yüksek, koersivitesi ise düşük değere sahip demektir. Bu özellikleri gösteren malzem yumuşak mıknatıs olarak adlandırılır. Bu özelliğe sahip malzemeler transformatör çekirdekleri için oldukça kullanışlıdır. Bu malzemeler ayrıca bilgisayarlardaki gibi, yüksek anahtarlanma hızlı devrelerde de kullanışlıdır.

iii- Histerisiz eğrisi büyük alanlı ise bu şekildeki malzemelere sert manyetik malzeme denir. Bu özelliklere sahip malzemeler manyetik kilit, hoparlör ve küçük motorlarda oldukça kullanışlıdır. Sonuç olarak; histerisiz eğrisindeki daralma (düşük koerzivite) bu malzemelerin kolayca mıknatıslanabileceğine ve artık mıknatıslığının düşük olacağını, bu alanın geniş olması ise (yüksek koerzivite) yani malzemenin mıknatıslanmasının zor olacağı bileceğini ve artık mıknatıslığının çok kuvvetli olacağını gösterir [48].

3. METARYAL VE METOD

3.1 İnce Film Teknolojileri

İnce film, kalınlık bakımından $1\mu m$ ' den daha ince yapıya sahip metal oksit film olarak tanımlanır. İnce filmleri tam olarak tanımlayabilmek için mikroskobik film özelliklerini iyi bilmek gereklidir. İnce filmleri oluşturan kompozisyon ve kimyasal bağ durumu, topografik özelliği, yüzeyinin pürüzlülük durumu, kristal ve amorf yapısındaki ara yüzeyi ve kristal yapısı gibi etkenler ince filmlerin özelliklerini doğrudan etkiler. Bazı ince filmler, elementlerin düşük basınç altında buharlaştırılıp bu buharın düşük sıcaklığa sahip altlık üzerine yoğunlaşması şeklinde elde edilmektedir. Farklı kaplama yöntemleri ve kaplamalar sırasında farklı işlem uygulanması sonucu, aynı malzemelerde olmayan değişik özellikleri bu malzemelerden elde edilen ince filmlerinde yakalamak mümkün olabilmektedir. İnce filmler aşağıdaki özellikleri bakımından dikkat çekicidir:

- i.** İnce filmler klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek ölçüde temizdir,
- ii.** Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek seviyede küçük geometrilerin üç boyutta oluşması mümkündür,
- iii.** Atomik büyüme işleminden kaynaklanan filme özgü malzeme özellikleri görülebilir,
- iv.** Kalınlık, kristal yönlenmesi ve çok katlı yapılardan kaynaklanan kuantum boyut etkileri ve diğer boyut etkilerini görmek mümkündür [51].

3.2 İnce Film Kaplama Yöntemleri

Birçok kaplama yöntemi ile ince film kaplamaları yapılabilmektedir. Bu depolama yöntemlerinin her birisinin diğerine göre avantajları bulunmaktadır. Bu depolama yöntemleri; Fiziksel Olarak Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD), Yüksek Vakumda Biriktirme Yöntemi (HVD), İyon Demetiyle Biriktirme Yöntemi, İyon Grubu Demeti Biriktirme Yöntemi, Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi, Plazma Çoğaltmalı Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi, Alçak Basınç Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi, Lazer Geliştirmeli Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi, Sıçratma (Sputtering) Yöntemi. Tez çalışmasında üretilen filmler sıçratma tekniği ile üretildiği için, bu yöntem detaylandırılacaktır.

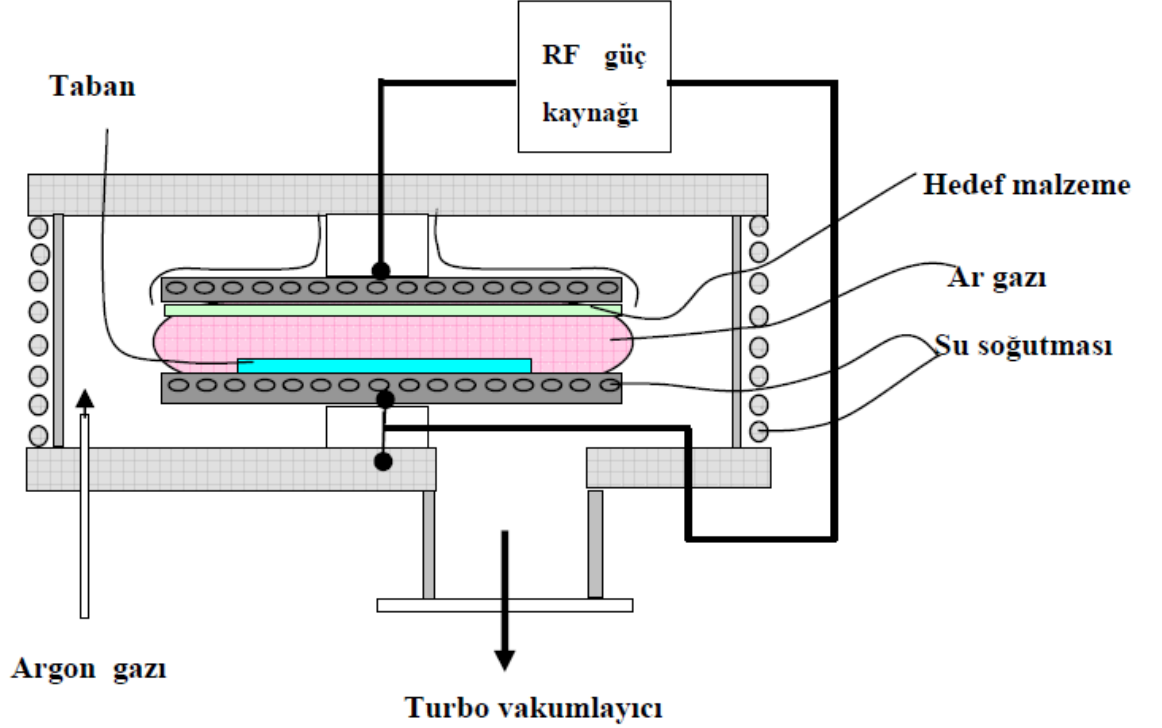
3.3 Sıçratma (Sputtering) Yöntemi

Sıçratma (Sputtering) Yöntemi; kelime anlamı katı bir yüzeyden atomları mekanik olarak söküp koparma işlemidir. Katı bir malzemenin atomları, yüzeyini yeterli enerjilere sahip atomlar veya iyonlarla (yaklaşık 30 eV'un üstünde) bombardıman ederek fırlatılabilir. Başka bir ifadeyle, hedef malzeme olan katı formdaki malzeme, bir iyon demeti ya da iyonize olmuş gazların negatif bir potansiyele sahip olan bu hedefe yönlendirilmesiyle sıçratılabilir [52].

Sıçratma mekanizmasının gözlemlenmesi çok eskilere dayanmaktadır. 1852 yılında Grove ve birkaç yıl sonra da Plücker bir deşarj tüpünün çalışması sırasında elektrotları oluşturan malzemenin, azar azar tüpün duvarında birikmeye başladığını tespit etmişlerdir. Günümüzde bu elektrotların, tüpün çalışması sırasında iyonlar tarafından bombardıman edilmesi ve birikme işleminin bundan dolayı olduğu bilinmektedir. 1877 yılında Wright ince tabakalar şeklinde metal biriktirme işlemini gerçekleştirmek amacıyla, katodik sıçratma yönteminin uygulanmasını önermiştir. Çok kullanışlı olabilecek olan bu fikrin o yüzyılda uygulanmamış olmasının temel iki sebebi çok düşük biriktirme hızları ve elde edilen film kalınlıklarının değişken olmasıdır. Bugünkü kaplama teknikleri bu fikirlerin uygulamasını sağlayabilmektedir [53].

Vakum teknolojisinde bu yöntem kullanarak ince film kaplama tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemle, bir katı kaynağın yüksek enerjili iyonlarla bombardımanı sonucu kaynaktan koparılan atom ve/ veya moleküllerin bir alttaş üzerinde birikmesi ile ince film oluşturulur. Sıçratma yönteminde, vakum odasında düşük basınçlı (0,005–0,12 mbar) plazma halindeki asal gaz (Argon) katot hedef ile anot arasına uygulanan birkaç yüz voltluk yüksek gerilim uygulanarak kaynak olarak kullanılan hedef elektrota doğru ivmelendirilir ve hedefe çarpan yüksek enerjili iyonlar hedeften atomları sökmeye başlar. Bunun sonucunda hedef kaynaktan yaklaşık %90 oranında nötr, diğer %10 oranında da iyonlaşmış olan atomlar koparılır. Hedeften sökülen atomlar alttaşa kadar ulaşarak alttaş üzerinde oldukça düzgün ince film oluşturur. İki tür sıçratma yöntemi mevcuttur. Bunlar doğru akım (DC) ve radyo frekanslı (RF) sıçratma yöntemleridir. Radyo frekanslı sıçratma yöntemi genellikle metal olmayan kaynaklar için kullanılır. Sıçratma yönteminin bir diğer farklı uygulama şekli magnetron sıçratma (magnetron

sputtering) yöntemidir. Bu yöntemde, iyonlaşmış argon atomlarına hızlandırmak için kullanılan elektriksel alana ek olarak bu alana dik doğrultuda bir de manyetik alan uygulanır. Manyetik alan sayesinde elektronlar sarmal yörünge boyunca hareket ederek hedef üzerinde iyon konsantrasyonunu artırırlar.[54]



Şekil 3.3.1 Sıçratma (Sputtering) cihazının şematik görünüşü

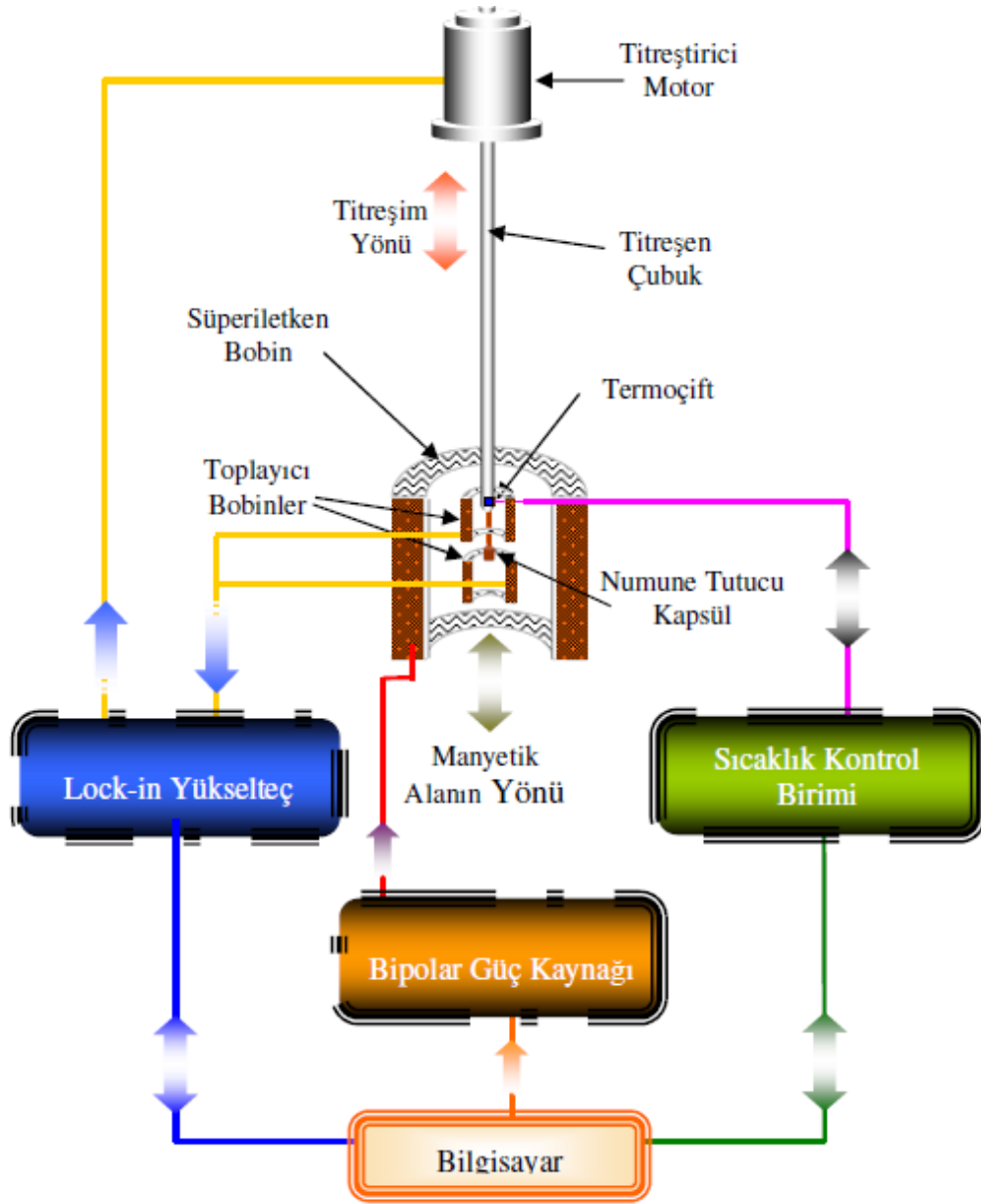
Bütün sıçratma mekanizmaları temel olarak Şekil 3.3.1’ deki gibidir. Ancak uygulamaya göre, hedefler su soğutmalı katot-taşıyıcılar üzerine monte edilmiş olabilirler, plazma yoğunluğunu artırmak için yüksek manyetik alanlara sahip olmaları mümkün olabilmektedir. Ayrı bir iyon kaynağı, biriktirme işleminden önce taban malzemenin temizlenmesini sağlarken biriktirme işlemi sırasında da bombardımanı gerçekleştirebilmektedir. Taban malzemeler de uygulamaya yönelik olarak, soğutulmuş, ısıtılmış, polarize edilmiş veya mobil olabilmektedirler [55]. Sıçratma ile birçok malzeme başarılı bir şekilde biriktirilebilmekte ancak birikme hızının ve plazma içindeki iyonlaşma etkisinin düşük olması, alt metal sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımını sınırlamaktadır.

3.4 Titreşimli Örnek Magnetometresi

Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ile araştırılan malzemeye ait manyetik özellikleri hakkındaki bilgilere manyetizasyon eğrisi ölçümleri sonucu ulaşılabilir. VSM sistemi, kontrol panelleri, güç kaynağı gibi elektronik kısımların yanı sıra titreştirici, elektro mıknatıs ve bunlara bağlanan bir bilgisayarın uyumlu bir şekilde çalıştığı bir sistemdir. Ayrıca bu titreştiriciye bağlı bir soğutma sistemi farklı sıcaklıklarda ölçüm yapmak için kullanılmaktadır. VSM' in resmi Resim 3.4.1 de verilmektedir.



Resim 3.4.1 VSM Resmi



Şekil 3.4.2 VSM Sistemi

VSM cihazı, elektromanyetik indükleme prensibine uygun çalışmaktadır. Faraday indüksiyon kanununda ifade edildiği gibi bir kapalı devrede meydana gelen manyetik akıdaki değişiklik, bu devrenin bir indüksiyon elektro motor kuvveti (e.m.k.) oluşturmasına sebep olur. Bu doğrultuda üzerinden akımın geçtiği bir bobinde oluşan indüksiyon e.m.k.sı;

$$V = -Ndt.d\phi \quad (3.3.1)$$

dir. Denklem (3.3.1)' de; ϕ manyetik akıyı, N manyetik akının geçtiği bobindeki sarım sayısını ifade eder.

Manyetik akının yoğunluğu:

$$B = A\phi \quad (3.3.2)$$

ifadesi ve indüksiyon e.m.k.'sı tekrar yazılarak:

$$V = -N.A.dt.dB \quad (3.3.3)$$

Şeklinde bir ifade elde edilir. Burada B manyetik indüksiyonu, A manyetik indüksiyonunun incelendiği alandır. Boş uzayda;

$$B = \mu_0.H \quad (3.3.4)$$

İfadesiyle birlikte indüksiyon e.m.k.'sı:

$$V = -\mu_0.N.A.dt.dH \quad (3.3.5)$$

eşitliği ifade edilmektedir. İndüksiyon e.m.k.'nin oluşmasının sebebi manyetik akıdaki zamanla meydana gelen değişimdir. Bunun için ya zamana bağlı değişen manyetik alan uygulanmalı yada manyetik alan içinde bulunan numunenin titreştirilmesi sağlanmalıdır. VSM'in çalışma prensibi, manyetik alan içerisindeki titreştirilen örnek numunenin manyetik akının değişimine sebep olması ve bu değişim sonucu meydana gelen indüksiyon e.m.k.'nin ölçülmesi ilkesine dayanır. Oluşan e.m.k. titreşen numunenin manyetizasyonu ile orantılı olacağından bu yöntem sayesinde numunenin manyetizasyon ölçümü yapılabilir. Ayrıca algılayıcı bobinlerin, arasında bulunan boşlukta numune bulunurken ve numune yokken ölçüm yapılarak manyetik indüksiyonlar arasındaki farklar hesaplanır. Bu ölçümlerin sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak uygulanan manyetik alan sayesinde manyetizasyondaki değişime bakılır. Gerçek manyetizasyon değerinin ortaya konması için sistem, manyetik moment değeri bilinen, örneğin nikel (Ni) ile kalibre edilir. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra numune, pyrex numune tutucuya yerleştirilerek titreştiriciye takılır. Örnek tutucu ayarlanan açılarda döndürülerek değişik yönlerden uygulanan manyetik alanlar altında bu ölçümleri yapmak mümkün olmaktadır. Bütün bu ölçümler sonucunda numuneye ait histerisiz eğrileri elde edilir.

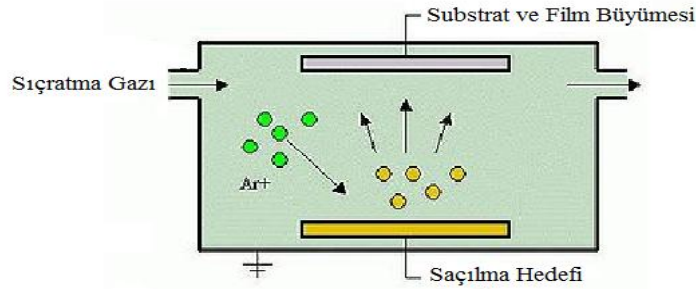
3.4 Deneysel Kısım

Bu tez çalışmasında depolama öncesi depolama çemberinin basıncı $P_1=8,3*10^{-8}$ Torr, depolamalar sırasında Argon gazı basıncı 3 mTorr olacak şekilde ayarlanmıştır. Si(100) altlık üzerine 150 nm kalınlığına sahip olacak şekilde $(Ni_{80}Fe_{20})_2Cr_8$, $(Ni_{80}Fe_{20})_4Cr_6$, $(Ni_{80}Fe_{20})_6Cr_4$, $(Ni_{80}Fe_{20})_8Cr_2$ film alaşımları depolanmıştır. Üretilen bu filmler yapı-karakteristikleri XRD ile Magnetik özellikler VSM ile incelenip yüzey topografyası ise AFM ile incelenmiş son olarak I-V ölçümü yapılmıştır.

3.4.1 Numunelerin Hazırlanması

Birçok depolama yöntemi ile ince film kaplamaları yapılabilmektedir. Bu depolama yöntemlerinin her birisinin diğerine göre avantajları bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında filmler Dc Magnetron Sıçratma metoduyla yöntemiyle hazırlanmıştır.

Sıçratma yöntemi, katı malzemeyi pozitif iyonlarla bombardıman ederek yüzeyden atomları sıçratma işlemi olarak tanımlanabilir. Sıçratma işleminde malzemeler ile reaksiyona girmeyecek olan argon iyonları (Ar^+) kullanılmıştır. Sıçratma işleminde iyonun yüzeyden atom koparabilmesi için iyon kütlelerinin oldukça büyük olması gerekmektedir. Bu nedenle argon ile yapılan sıçratma işlemi diğer gazlara, örneğin helyuma göre daha verimli olmaktadır.



Şekil 3.4.1 Dc Magnetron Sıçratma Mekanizması

Bu tez çalışmasında, hard disklere kayıt yapmasını sağlayan yazıcı/okuyucu kafalarda kullanılan NiFe alaşımlarının koerzivitelerinin arttırılması ve kolay mıknatıslanıp,

mıknatıslıklarını da çabuk giderebilen yazıcı/okuyucu kafa malzemesi olarak kullanılmak yerine harddisk malzemesi olarak kullanılabilmesi araştırılmıştır.

Amaçlarımız doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalar şöyle sıralanabilir;

- i. $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ alaşımı farklı oranlarda Cr ile birlikte depolanarak, $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$, $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$, $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$, $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ alaşımlarının Si(100) altlık üzerine depolandı.
- ii. Büyütülen filmlerin magnetik özellikleri VSM ölçümleri ile araştırıldı.
- iii. Büyütülen filmlerin yapı-karakteristikleri XRD ile incelendi.
- iv. Filmlerin yüzey topografyaları AFM ile incelendi.
- v. Üretilen filmlerin I-V ölçümleri yapıldı.

Bu çalışma kapsamında 4 farklı manyetik film üretimi yapılmıştır. Ayır ayrı depolanan filmlere ait depolama parametreleri Çizelge 3.4 de verilmektedir.

Çizelge 3.4 Sıçratma parametreleri

Parametreler	Ar basıncı	Sıçratma Gücü	Kaplama hızı	Süre
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$	3mTorr	Cr 400 W NiFe 107.2 W	2.68 Å/s 0.67 Å/s	448 sn
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$	3mTorr	Cr 446 W NiFe 320 W	3 Å/s 2 Å/s	300 sn
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$	3mTorr	Cr 297 W NiFe 480 W	2 Å/s 3 Å/s	300 sn
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$	3mTorr	Cr 68.2 W NiFe 320 W	0.46 Å/s 1.87 Å/s	643 sn

Filmlerin üretim aşamaları aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.4.1.1 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ Filminin üretimi

Üretim öncesi Si(100) altlık sıçratma cihazında ön temizliğe tabi tutuldu. Depolama öncesi çemberin basıncı $P_1=8*10^{-8}$ Torr mertebesinde ayarlanmıştır. Depolamalar

sırasında ise Argon basıncı 3 mTorr olmuştur. Filmler $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ alaşımına 320 watt sıçratma gücü 1,87 A/s hızı, Cr ise 68,2 watt sıçratma gücü ve 0,46 A/s kaplama hızı 643 saniye olarak uygulanmıştır. Bu şekilde Si(100) altlık üzerine 150 nm kalınlıkta depolanarak $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ filminin üretimi sağlanmıştır.

3.4.1.2 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ Filminin üretimi

Üretim öncesi Si(100) altlık sıçratma cihazında ön temizliğe tabi tutuldu. Depolama öncesi çemberin basıncı $P_1=8*10^{-8}$ Torr mertebesinde ayarlanmıştır. Depolamalar sırasında ise Argon basıncı 3 mTorr olmuştur. Filmler NiFe alaşımına 480 watt sıçratma gücü 3 A/s hızı, Cr ise 297 watt sıçratma gücü ve 2 A/s kaplama hızı 300 saniye olarak uygulanmıştır. Bu şekilde Si(100) altlık üzerine 150 nm kalınlıkta depolanarak $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ filminin üretimi sağlanmıştır.

3.4.1.3 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$ Filminin üretimi

Üretim öncesi Si(100) altlık sıçratma cihazında ön temizliğe tabi tutuldu. Depolama öncesi çemberin basıncı $P_1=8*10^{-8}$ Torr mertebesinde ayarlanmıştır. Depolamalar sırasında ise Argon basıncı 3 mTorr olmuştur. Filmler NiFe alaşımına 320 watt sıçratma gücü 2 A/s hızı, Cr ise 446 watt sıçratma gücü ve 3 A/s kaplama hızı 300 saniye olarak uygulanmıştır. Bu şekilde Si(100) altlık üzerine 150 nm kalınlıkta depolanarak $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$ filminin üretimi sağlanmıştır.

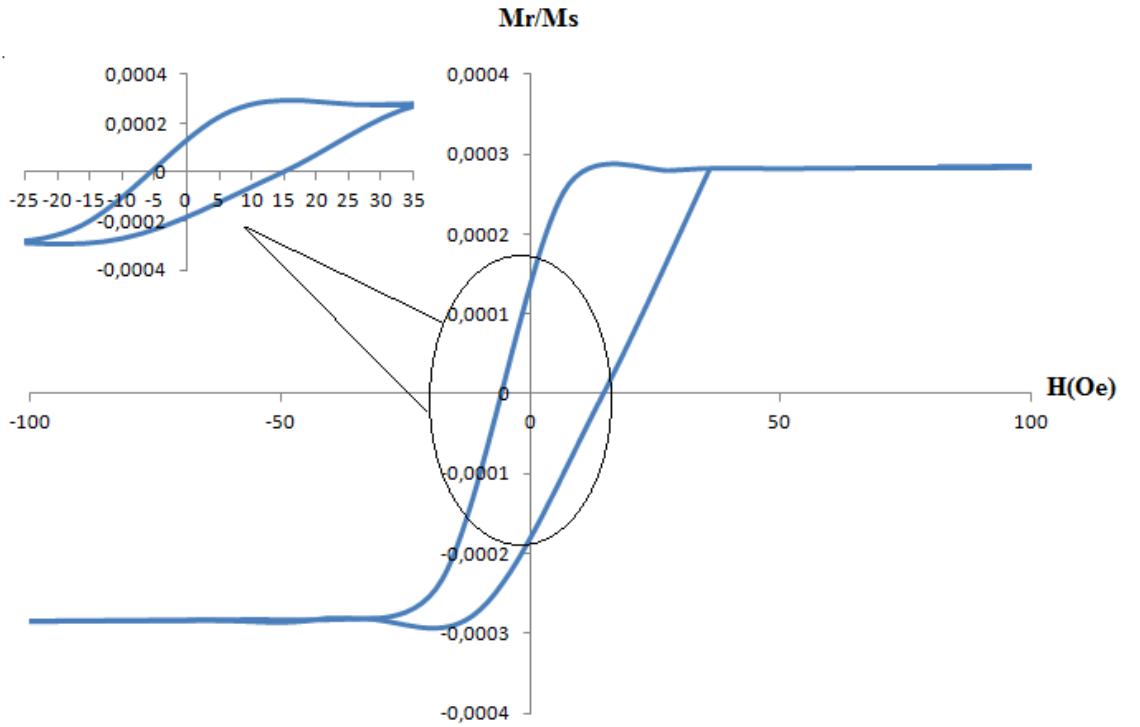
3.4.1.4 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$ Filminin üretimi

Üretim öncesi Si(100) altlık sıçratma cihazında ön temizliğe tabi tutuldu. Depolama öncesi çemberin basıncı $P_1=8*10^{-8}$ Torr mertebesinde ayarlanmıştır. Depolamalar sırasında ise Argon basıncı 3 mTorr olmuştur. Filmler NiFe alaşımına 107,2 watt sıçratma gücü 0,67 A/s hızı, Cr ise 400 watt sıçratma gücü ve 2,68 A/s kaplama hızı 448 saniye olarak uygulanmıştır. Bu şekilde Si(100) altlık üzerine 150 nm kalınlıkta depolanarak $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$ filminin üretimi sağlanmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

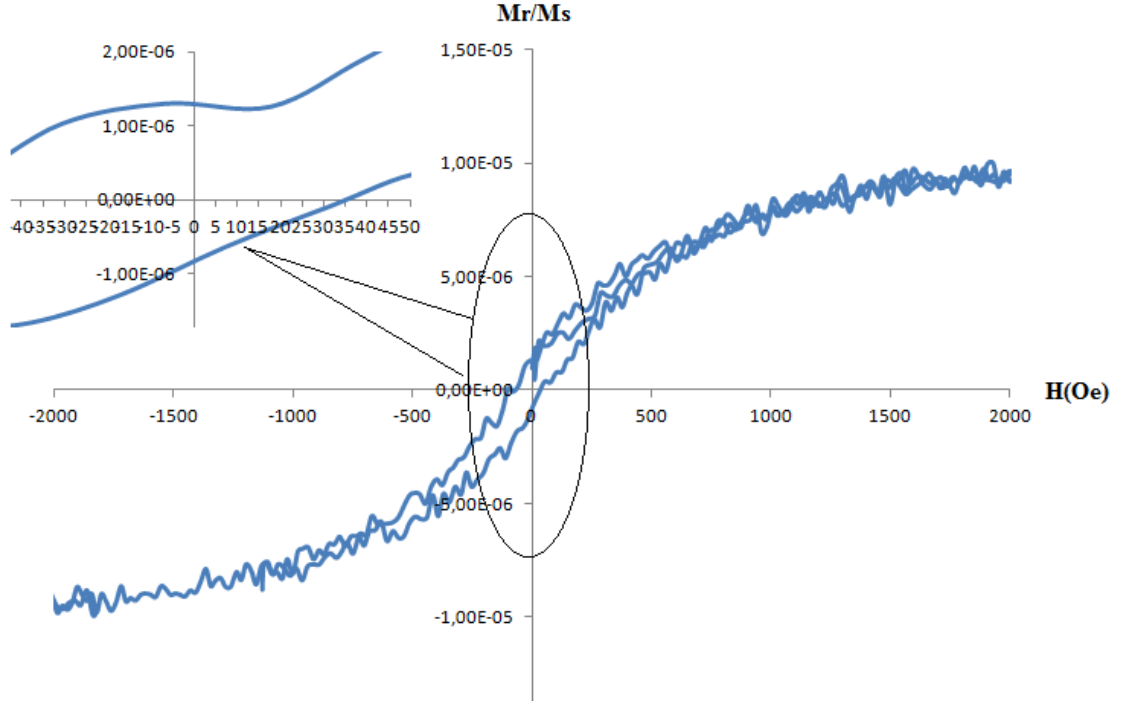
4.1 Magnetizasyon Ölçüm Sonuçları

Üretilen numunelerin VSM ölçümleri, İnönü Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında bulunan VSM cihazıyla oda sıcaklığında +10000 Oe -10000 Oe arasında magnetik alan değerleri 853 tekrarlı olarak arasında ölçüm yapıldı. Ölçüm sonuçlarına göre dört numuneden yalnız ikisinde histeresiz eğrileri izlenmiştir. Bunlar $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$, $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$, filmlerine ait olup $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$, Şekil 4.1.1 ve Şekil 4.1.2 de verilmektedir.



Grafik 4.1.1 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ Numunesine ait histeresiz eğrisi.

Grafik 4.1.1' görüldüğü gibi $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ ince film ferromagnetik malzemelerin bir özelliği olan histeresiz eğrisine sahiptir. Grafikte görüldüğü gibi $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ film yumuşak mıknatıslık özelliğine sahip ve yaklaşık olarak 1-2 Oe olan $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})$ ile karşılaştırıldığında koersivitesinin daha büyük olduğu görülmektedir. Ölçümler sonucunda koersivite değerinin yaklaşık 11 Oe olduğu görülmüştür.



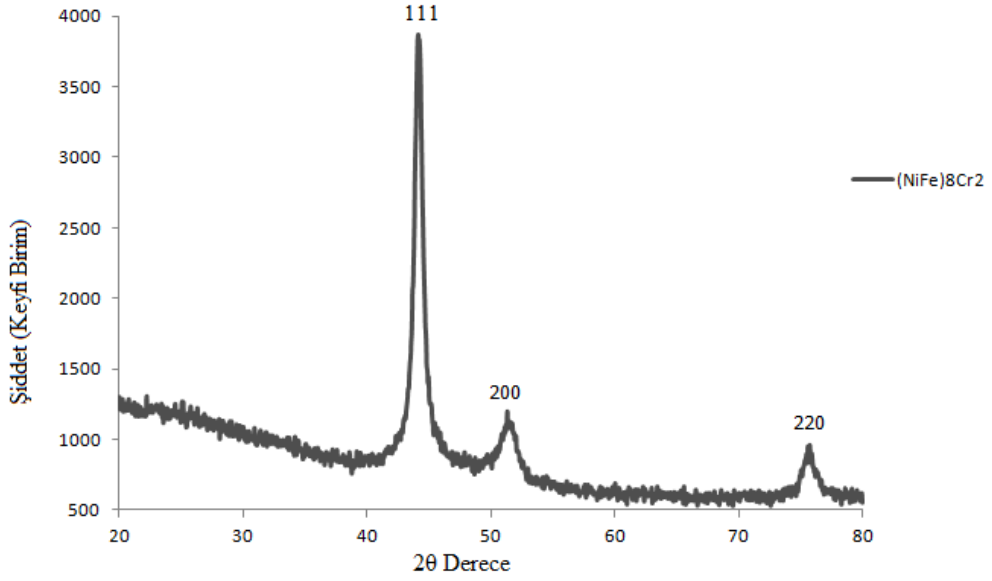
Grafik 4.1.2 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ Numunesine ait histeresiz eğrisi.

Grafik 4.1.2 de görüldüğü gibi $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ ince film ferromagnetik malzemelerin bir özelliği olan histeresiz eğrisine sahiptir. Grafikten $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ filmine ait koersivite değerinin yaklaşık 50 Oe olduğu görülmüştür.

Grafik 4.1.1 de % 20 Cr katkılı, Şekil 4.1.2 de % 40 Cr katkılı 150 nm kalınlıkta filmlere ait histeresiz eğrileri verilmektedir. %60 ve %80 Cr katkılı filmlerde alınan VSM sonuçlarında düzgün birer histeresiz eğrisi gözlenememiştir yani filmler Cr miktarı arttırıldıkça ferromanyetik özellik kaybedilmektedir.. Bu sonuç daha önceki çalışmalarla uyumaktadır [46]. Lee ve arkadaşlarının çalışmalarında $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ alaşımlarında x değeri 0,4 ün üzerine çıktığında malzemenin magnetikliğini yitirdiği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ alaşımına ilave edilen Cr katkısı arttıkça koersivite değerinin arttığı gözlenmektedir. Yani filmler Cr miktarı arttırıldıkça Cr miktarına bağlı $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_{1-x}\text{Cr}_x$ filmlerinin mıknatıslığını kaybetmesinin nedeni Cr un manyetik olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

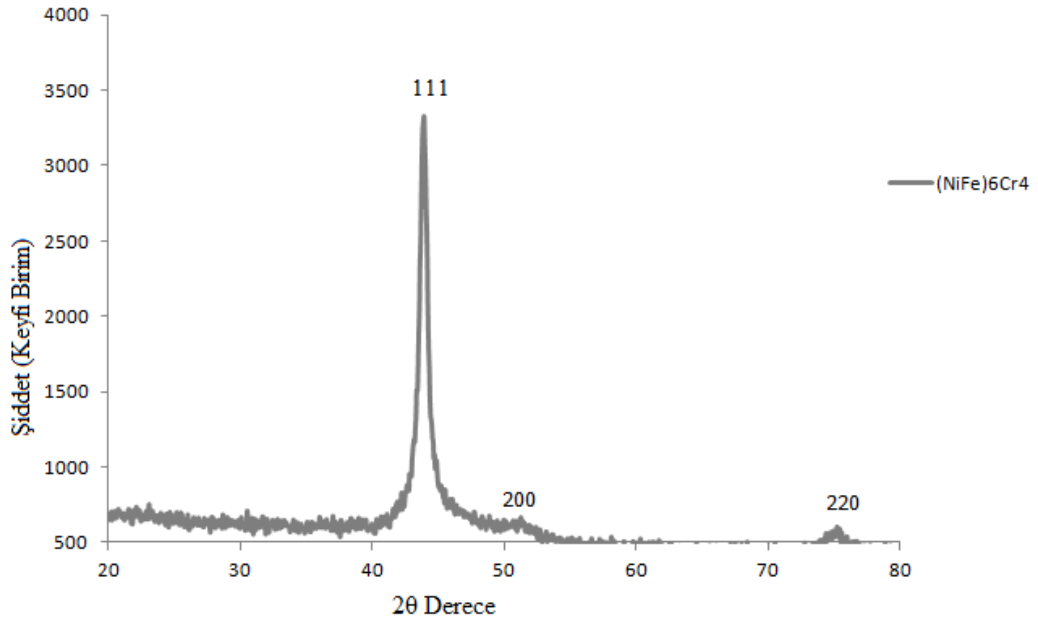
4.2 XRD Analiz Sonuçları

Üretilen filmlere ait yapısal karakterizasyonu XRD ile incelenmiştir. Daha önceki araştırmalardan $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ' ait filmlerde yansıma veren düzlemlerin, sırasıyla (111), (200) ve 220) düzlemleri olduğu bilinmektedir.



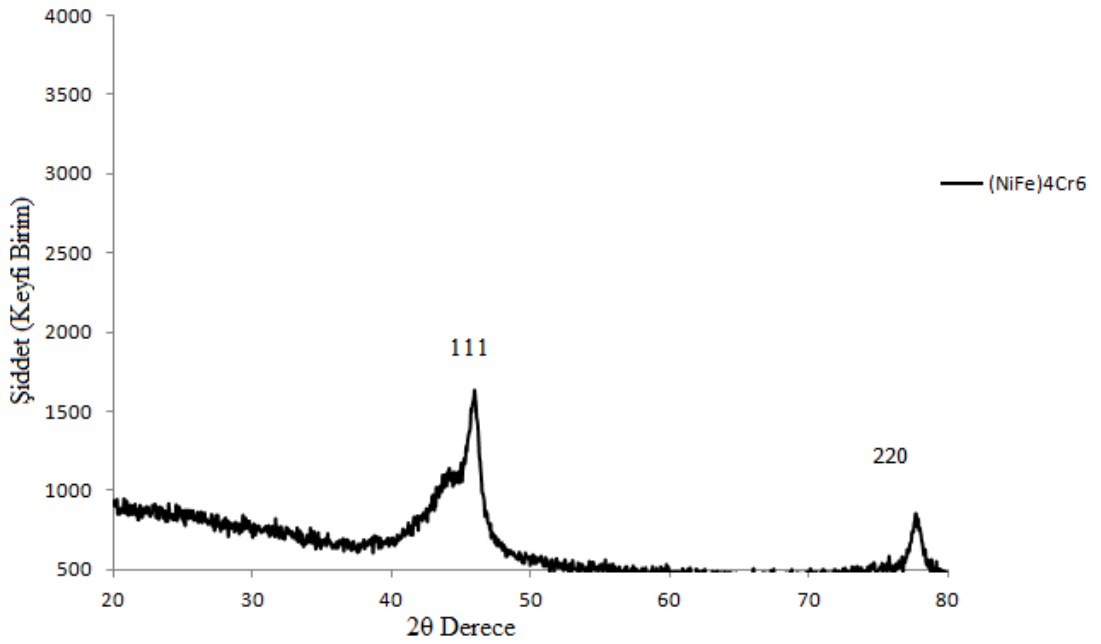
Grafik 4.2.1 $(\text{NiFe})_8\text{Cr}_2$ Numunesine ait XRD grafiği

Grafik 4.2.1 de $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ Numunesine ait XRD grafiği görülmektedir bu grafikte (111) pikinin çok şiddetli, diğer iki pikin ise düşük değerde olduğu görülmektedir. Buda numunenin $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})$ ' in özelliklerini baskın olarak gösterdiğine delil olabilir. Alaşım içindeki $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})$ 'nin sahip olduğu kristal yapı ağırlıklı olarak fcc (111) yapısındadır.



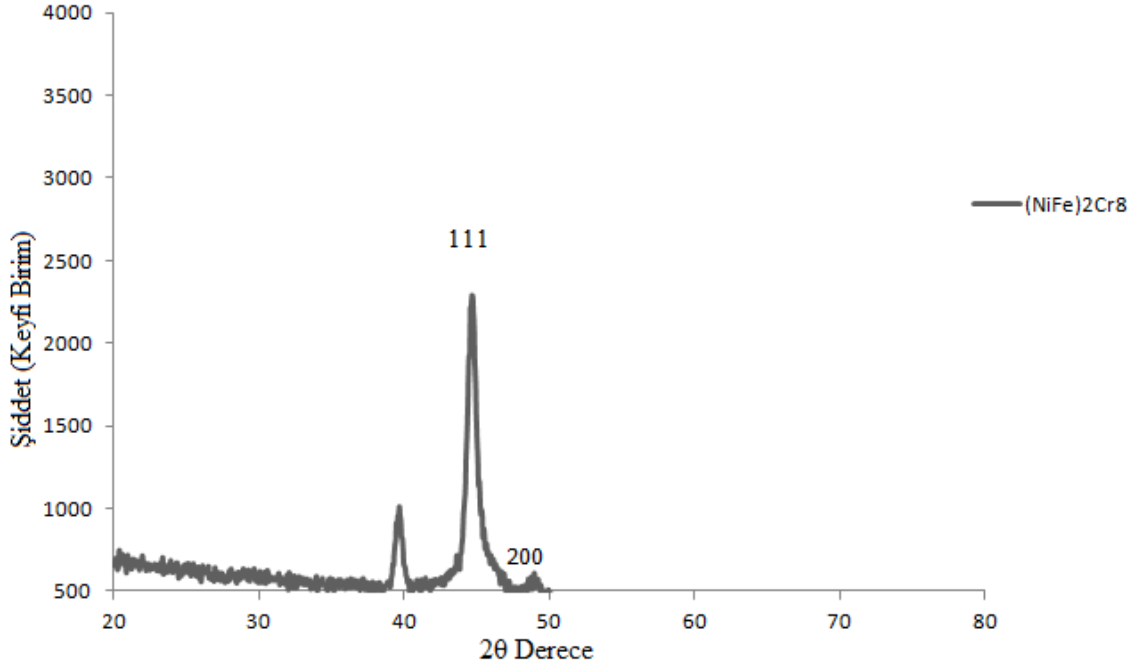
Grafik 4.2.2 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ Numunesine ait XRD grafiği

Grafik 4.2.2 de $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ Numunesine ait XRD grafiği görülmektedir. Katkılı filme göre (111) pikinin şiddetinde %20 Cr katkılandığında bir azalma gözlenmiş, (200) ve (220) düzlemlerine ait piklerde ise zayıflama gözlenmiştir.



Grafik 4.2.3 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$ Numunesine ait XRD grafiği

Grafik 4.2.3 de $(Ni_{80}Fe_{20})_4Cr_6$ Numunesine ait XRD grafiği görülmektedir. Bu grafiğe bakıldığında $Ni_{80}Fe_{20}$ alaşımına ait (111) pikinin şiddetinde ciddi bir azalma görülmektedir, de aşırı bir azalma görülmektedir, buna ilaveten 44 derecede $Ni_{80}Fe_{20}$ ye ait (111) düzlemiyle çakışan ve Cr a ait bir pik gözlenmiştir. (220) düzlemine ait pik yerini hala korumaktadır.



Grafik 4.2.4 $(Ni_{80}Fe_{20})_2Cr_8$ Numunesine ait XRD grafiği

Grafik 4.2.4 de $(Ni_{80}Fe_{20})_2Cr_8$ Numunesine ait XRD grafiği görülmektedir. Bu filmde (111) pikinin şiddetinde Cr oranına bağlı bir azalma izlenmiştir. 38 deredeki pikin Cr a ait olduğu düşünülmektedir.

XRD sonuçlarına göre ortaya çıkan en önemli sonuç değişen Cr miktarına bağlı olarak yansıma veren düzlemlerde görülen kaymalardır. Elde edilen XRD grafiğinde $Ni_{80}Fe_{20}$ oranı arttıkça (111) pikinde yükselme ve daralma görülmektedir. Yani alaşımdaki Cr miktarı arttırıldıkça $Ni_{80}Fe_{20}$ kristali mükemmellikten uzaklaşmaktadır.

Bunlara ilaveten denklem (4.2.1) ile verilen Scherrer eşitliği kullanılarak tanecik boyutu analizi de yapılmıştır.

$$d = (0,9\lambda)/(\beta\cos\theta) \quad (4.2.1)$$

Denklem 4.2.1 de λ kullanılan X- ışının dalgaboyu, β yarı pik genişliği, θ ise Bragg açısıdır.

Çizelge 4.2.1 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ yapısındaki(111) düzlemi için hesaplanan tanecik boyutları

Numune	2θ	$d(\text{Å})$
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$	44,150	92,263
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$	43,950	82,444
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$	46,000	50,795
$(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$	44,700	48,841

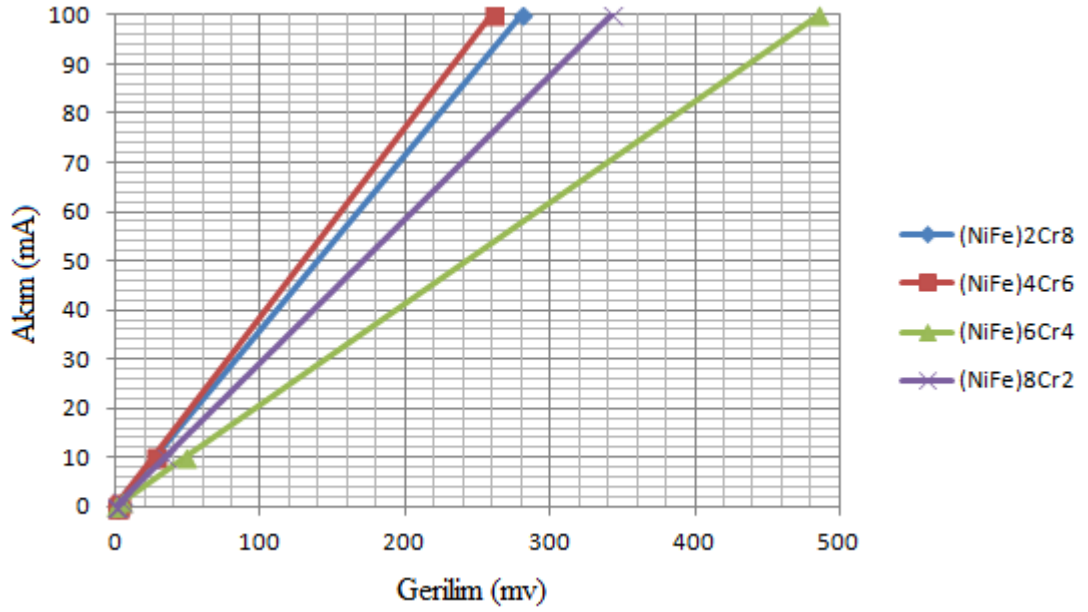
Çizelge 4.2.1 de Sherrer formülü kullanarak $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ alaşımına ait (111) düzleminin tanecik boyutları verilmektedir. Alaşımlardaki Cr miktarı arttıkça $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ alaşımının tanecik boyutlarında bir azalma izlenmektedir. Seriyi bozan film %60 Cr katkılı film olup buradaki tanecik boyutu değerinin beklenen değerden daha düşük çıkmasının, 44 derecede meydana gelen ve Cr a ait olduğu düşünülen ve $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})$ (111) düzlemine ait pikin çakışmasına bağlı hesaplama yanlışlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3 Numunelerin I-V analizleri

Elde edilen numunelerin I-V ölçümleri Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik araştırma laboratuvarında yapılmış ve akım gerilim grafiği Grafik 4.3.1 de verilmiştir.



Resim 4.3.1 I- V Ölçüm cihazı resmi

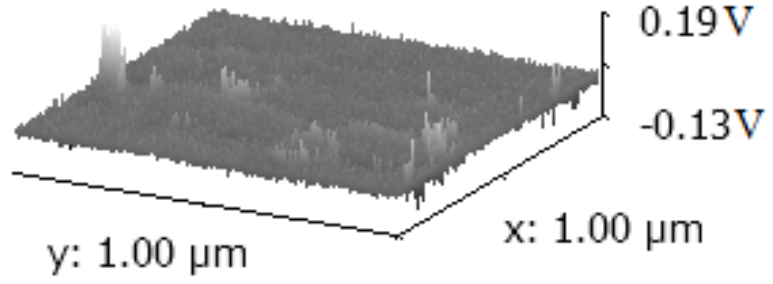


Grafik 4.3.1. Akım gerilim grafiği

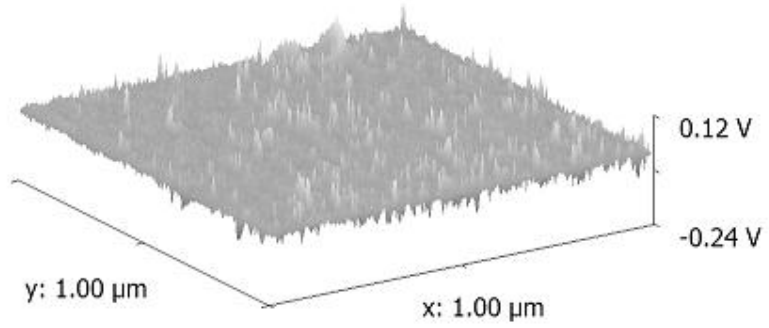
Malzemelerin yaprak (yüzey) direnci dört nokta prob metodu kullanılarak ölçüldü. İğneler arası mesafe 1 mm olarak ayarlanmıştır. Grafik 4.3.1.'de gösterilen akım-gerilim grafiği numune yüzeylerinin ohmik bir davranış sergilediği ve metalik yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte filmlerde artan Cr miktarına bağlı düzenli yüzey direnci değişimlerine ulaşılamamıştır.

4.4 Numunelerin AFM analizleri

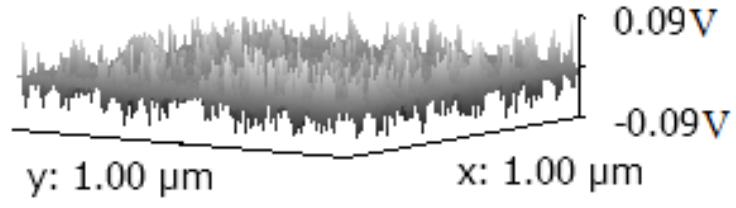
Üretilen numunelerin AFM görüntüleri Agilent marka S600LS cihazıyla elde edilmiştir. Filmlere ait üç boyutlu AFM görüntüleri Resim 4.4.1-4 de verilmektedir. Görüntülerden de izleneceği üzere NiFe içindeki Cr oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır.



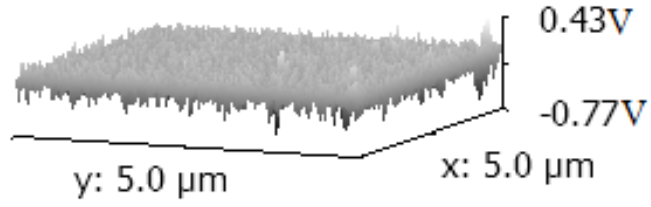
Resim 4.4.1 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_8\text{Cr}_2$ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.



Resim 4.4.2 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_6\text{Cr}_4$ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü.



Resim 4.4.3 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_4\text{Cr}_6$ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü



Resim 4.4.4 $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20})_2\text{Cr}_8$ Numunesine ait üç boyutlu AFM görüntüsü

Üretilen filmlere ait MFM görüntüleri elde edilip, magnetik histeresis grafikleriyle uyumları araştırmasının daha sonraki çalışmalarda yapılabileceği önerilmektedir.

5. SONUÇ

Bu tezde, bilgisayar teknolojisinde yaygın olarak kullanılan $Ni_{80}Fe_{20}$ alaşımlarına Cr katkısının, 150 nm lik alaşım filmlerinin yapısal ve magnetik özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana getirdiği araştırılmıştır.

$(Ni_{80}Fe_{20})_{1-x}Cr_x$ nano filmleri DC magnetron sızratma tekniği ile üretilmiştir. Daha önceki benzer çalışmaların daha çok elektrokimyasal depolama sistemi ile üretildiği düşünüldüğünde, sızratma tekniğiyle üretilen filmler sayesinde sonuçların doğrulanma fırsatı ortaya çıkmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde $Ni_{80}Fe_{20}$ alaşımına ilave edilen Cr katkısı arttıkça filmlerin koersivite değerinin arttığı gözlenmektedir. Bu sonuç $Ni_{80}Fe_{20}$ nano filmlerinin sert mıknatıslığa geçmesine neden olmaktadır. Cr katkılı $Ni_{80}Fe_{20}$ nano filmleri yazıcı okuyucu kafa dizaynından daha çok hard disk dizaynı için daha uygun bir yapı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte alaşım içindeki Cr miktarı %25 ı geçtiğinde filmlerin magnetik özelliklerini kaybettikleri görülmüştür. Sonuçlar literatür ile uyum içerisindedir.

Bu çalışmanın devamı olarak Cr yerine farklı metaller kullanılıp üretilecek yeni filmlerin, Cr metalinin verdiği etki ile karşılaştırılmasının yapılması planlanmaktadır.

Cr katkılı Co ve Ni alaşımlarının biyomedikal uygulamaları son zamanlarda oldukça popüler hale geldiği düşünüldüğünde, bu alandaki araştırmalara ağırlık verilmesi gerektiği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Gökteş, A., “Sol-Jel Metodu ile Manyetik Film Yapımı ve Karakterizasyonunun İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [2] Venkatas, H. V., 1970. Electrodeposition of thin magnetic permalloy films, *J. Electrochem. Soc.*, 117 (3), 403-406.
- [3] Mukasa, K., Sato, M. and Madea, M., 1970. Magnetic properties of electrodeposited nickel-iron-phosphorus thin films, *J. Electrochem. Soc.*, 117 (1), 22-25.
- [4] Chiu, A., Croll, I., Heim, D. E., Jones, R. E., Kasiraj, Jr. P. and Simmons, R.G., 1996. Thin film inductive heads, *IBM Journal of Research and Development*, 40 (3), 283-300.
- [5] Betteridge, W., 1984. Nickel and Its Alloys. Ellis Horwood, London.
- [6] Law, H.H., Holden, C.A., Mattoe, C. A., Sapjeta, J., Degani, Y. and Tiefel, T.H., 1992. Prototype manufacture of miniature nickel iron alloy magnetic sleeves for optical switching, *Plating and Surface Finishing*, 79 (80), 50-54.
- [7] Singh, R. N., Pandey, P. and Anitha, K. L., 1993. Preparation of electrodeposited thin films of nickel-iron alloys on mild steel for alkaline water electrolysis. Part I: Studies on oxygen evolution, *International Journal of Hydrogen Energy*, 18 (6), 467-473.
- [8] Gangasingh, D., 1988. Mechanism of electrodeposition of permalloy thin films, *M.S. Thesis*, University of California, San Diego.
- [9] Yin, K.M. and Lin, B.T., 1996. Effects of boric acid on the electrodeposition of iron, nickel and iron-nickel, *Surface and Coatings Technology*, 78 (1-3), 205-210.
- [10] Srimathi, S. N., Mayanna, S. M. and Sheshadri, B. S., 1982. Electrodeposition of binary magnetic alloys, *J. Electrochem. Soc.*, 16 (4), 277-322.
- [11] Lallemand, F., Ricq, L., Bercot, P. and Pagetti, J., 2002. Effects of the structure of organic additives in the electrochemical preparation and characterization of CoFe film, *Electrochimica Acta*, 47 (26), 4149-4156.
- [12] Tabakovic, I., Inturi, V. and Riemer, S., 2002. Composition, structure, stress, and coercivity of electrodeposited soft magnetic CoNiFe films, *J. Electrochem. Soc.*, 149 (1), C18-C22.

- [13] Phan, N. H., Schwartz, M. and Nobe, K., 1988. Electrodeposition of Fe-Ni and Fe-Ni-Co super invar alloys, *Plating and Surface Finishing*, 75 (8), 46-49.
- [14] Phan, N. H., Schwartz, M. and Nobe, K., 1991. Electrodeposition of Fe-Ni-Co alloys. 1. Direct current deposition, Corrosion properties of electroplated CoNiFe films, *Journal of Applied Electrochemistry*, 21 (8), 672-677.
- [15] Saito, M., Yamada, K., Ohashi, K., Yasue, Y., Sogawa, Y. and Osaka, T., 1999. Corrosion properties of electroplated CoNiFe films, *J. Electrochem. Soc.*, 146 (8), 2845-2848.
- [16] Ricq, L., Lallemand, F., Gigandet, M.P. and Pagetti, J., 2001. Influence of sodium saccharin on the electrodeposition and characterization of CoFe magnetic film, *Surface and Coatings Technology*, 138 (2-3), 278-283.
- [17] Bradley, P. E., Janossy, B. and Landolt, D., 2001. Pulse plating of cobalt-iron-copper alloys, *Journal of Applied Electrochemistry*, 31 (2), 137-144.
- [18] Tarozaitė, R., Stalnionis, A., Sudavicius, A. and Kurtinaitiene, M., 2002. Magnetic properties of thin CoNiPCu films deposited from electroless plating solution with simultaneous electrolysis, *Surface and Coatings Technology*, 161 (2-3), 150-157.
- [19] Platt, C. L., Minor, M. K. and Klemmer, T.J., 2001. Magnetic and structural properties of FeCoB thin films, *IEEE Transactions On Magnetics*, 37 (4), 2032-2304.
- [20] Kim, B. D., Matsuda, H., Aoki, K. and Takano, O., 1996. Microstructure and magnetic properties of electroless Ni-Fe-B alloy films, *Plating and Surface Finishing*, 83 (4), 35-36.
- [21] Campillo, B., Sebastian, P.J., Gamboa, S.A., Albarran, J.L. and Caballero, L.X., 2002. Electrodeposited Ni-Co-B alloy; application in water electrolysis, *Materials Science and Engineering*, 19 (1-2), 115-118.
- [22] Rasmussen, F. E., Ravnkilde, J. T., Tang, P. T., Hansen, O. and Bouwstra, S., 2001. Electroplating and characterization of cobalt-nickel-iron and nickel-iron for magnetic microsystems applications, *Sensors and Actuators*, 92 (1-3), 242-248.
- [23] Park, D. Y., Yoo, B. Y., Kelcher, S. and Myung, N. V., 2006. Electrodeposition of low-stress high magnetic moment Fe-rich FeCoNi thin films, *Electrochimica Acta*, 51 (12), 2523-2530.
- [24] Ibl, N., 1980. Some theoretical aspects of pulse electrolysis, *Surface Technology*, 10 (2), 81-104.

- [25] Maksimovic, M. D. and Djokic, S. S., 1988. The effect of constant and pulsating potentials on the electrodeposition of nickel-iron alloys, *Surface and Coatings Technology*, 35 (1-2), 21-28.
- [26] Popov, K. I., Maksimovic, M. D., Simicic, M. V. and Krstajic, N. V., 1984. Fundamental-aspects of pulsating current metal electrodeposition. 9. The prevention of spongy deposit formation on inert substrates, *Surface Technology*, 22 (2), 159-164.
- [27] Cherkaoui, M., Chassaing, E. and Quang, K. V., 1988. Pulse plating on Ni-Cu alloys, *Surface and Coatings Technology*, 34 (3), 243-252.
- [28] Karaağaç, Ö., “CoCu Alaşım Filmlerin Elektrodepozisyonu, Yapısal ve Manyetik Özellikleri Üzerine Depozisyon Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [29] Das, A., “Prodding Magnetic Properties of Electrodeposited Co/Cu and Ni/Cu alloy Films by Scanning Probes”, Yüksek Lisans Tezi, Department of Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology, 2010.
- [30] Piramanayagam, S.N., Soo, E.W., Wang, J.P., “Multilayered FeCo/FeCo-O Soft Magnetic Films for Recording Applications”, Magnetics Conference, 2002. INTERMAG Europe 2002. Digest of Technical Papers. 2002 IEEE International, AQ12, Ağustos 2002.
- [31] Y., Liu, F., Stoev, K., Dang, X., Tong, H., Huai, He, Q., Y., 2002. High-Performance Writer Using High-Moment Sputtered Films in Top and Bottom Poles. Magnetics, IEEE Transactions on 38, 2222-2224.
- [32] Katada, H., Shimatsu, T., Watanabe, I., Muraoka, H., Nakamura, Y., 2002. Soft Magnetic Properties and Microstructure of NiFe(Cr)/FeCo/NiFe(Cr) Films with Large Saturation Magnetization. Magnetics, IEEE Transactions on 38, 2225- 2227.
- [33] Craus, C. B., “Magnetic Properties of Nanocrystalline Materials for High Frequency Applications” Yüksek Lisans Tezi, Solid State Physics Laboratory of the University of Groningen, 2003.
- [34] Peng, D. L., She, H., Chen, Y., Yue, G.H., Katoh, R., Sumiyama, K., “Preparation and Magnetic Properties of Size-monodispersed Fe-Co Alloy Nanoclusters”, IEEE International Nanoelectronics Conference, 1062-1065, China, Mart 2008.
- [35] Bunge H.J., (1989), "*Texture and magnetic properties, Textures and microstructures*", V.11, PP. 75-91
- [36] Carbucicchio M., Rateo M., Ruggiero G., Turilli G., (2002), "*In plane uniaxial magnetic anisotropy in metallic multilayers*", Journal of magnetism and

magnetic materials, 242-245,601-603

- [37] El-Hilo M., Kelly P., O'Grady K. Popplewell J., (1990), "*Determination of easy axis distribution in recording media*" IEEE Transactions on magnetics, V.26, No:1
- [38] Gonzales-Fernandez M.A. ve Ark.(2005),"*Texture and viscosity effects in particulate recording media*", Journal of applied physics 97,10P702
- [39] Morales M.P. , O'Grady K., (1995),"*Texture and interaction effects in barium ferrite media*" IEEE Transactions on magnetics, V31 N:6, PP. 2904
- [40] Torre E.D., (1999), "*Magnetic hysteresis*", IEEE pres.New York
- [41] Jiles D., (1996),"*Introduction to magnetism and magnetic materiels*", Chapman and hall press, London
- [42] Kittel C., (1986),"*Introduction to solid state physics*" John Wiley and Sons, Inc.
- [43] Purcell E.M., (1979),"*Electricity and magnetism*"Mcgraw Hill book company, Berkeley, California
- [44] T.Miyazaki, T. Ajima, and F. Sato "Dependence of magnetoresistance of thickness and substrate temperature for Ni-Fe alloy film", J. magn. magn. mat., vol.81, PP, 1989. 91-95
- [45] Hoshino, K; Sano, M; Narumi, S;"magnetik propertios and thermal stability of electroplated NiFeCr and NiFeMo films with high resistivity" IEEE transactions on magnetos volum 35, Issue:5, Pages:3433-3435, Part:2, 1999
- [46] W.Y. Lee, M.F. Toney and D. Mauri, " High magneto resistance in sputtered permalloy thin films through growth on seed layers of $(\text{Ni}_{0,81}\text{Fe}_{0,19})_{1-x}\text{Cr}_x$ IEEE Transactions on magnetics, Vol.36, No:1. 2000
- [47] Yang Xiao-fei, Peng Zi-long, Liao Hong-wei, Li Zuo-yi, "microstructure and AMR properties of permalloy films sputtered on $(\text{Ni}_{0,81}\text{Fe}_{0,19})_{0,66}\text{Cr}_{0,34}$ buffer, Journal of wuhan Üiversity of Technolojy Mater, Sci. Ed. Vol.19, No:1 2004

- [48] Tacer E., (2004), "*Ders Notları*" İ.T.Ü Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul
- [49] Akdoğan N., (2004), "*İnce Filmlerde Manyeto-Optik Ölçümler*" Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, İstanbul
- [50] Heinonen O., (2003) , "*Computation Applied Magnetics*" Seagate Technology, Power Point Sunu
- [51] <http://staff.science.uva.nl/~konings/fib.html> (22.07.2007)
- [52] http://labfiz.uwb.edu.pl/exp/domeny/fizyka_domen_magnetycznych.php?lang=p (14.08.2007)
- [53] <http://lab-neel.grenoble.cnrs.fr/themes/macro/subjects/model-en.html> (18.08.2007)
- [54] http://www.tmmndt.com/download/MPI_demagnetizasyon.pdf (19.07.2007)
- [55] Gürler Y., (1971), "*İnce Film Devre Teknolojisi*", Elektrik Müh. Odası Aylık Yayın Organı, 15,174,32