POLİMER İNCE FİLMLERİN MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şenol GÜNEŞ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER İNCE FİLMLERİN MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şenol GÜNEŞ

Doç. Dr. S. Kemal AKAY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2014

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Şenol GÜNEŞ tarafından hazırlanan "Polimer İnce Filmlerin Manyetik Özelliklerinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. S. Kemal AKAY

Başkan :	Doç. Dr. S. Kemal AKAY Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Doç. Dr. Ali KARA Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.../.../…...

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10/01/2014

İmza

Şenol GÜNEŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİMER İNCE FİLMLERİN MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şenol GÜNEŞ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sertan Kemal AKAY

Bu tezde, üç farklı polimer içerisine katkılanan baryum ferrit (BF) nano parçacıkların yapısal, elektriksel ve manyetik özellikleri incelenmiştir. Yapısal incelemelerde XRD ve AFM, elektriksel incelemelerde I-V ve C-V ölçümleri ve manyetik incelemelerde ise VSM ve MFM teknikleri kullanılmıştır.

Yapısal incelemelerde, baryum ferrit katkılı polimer ince filmlerin çok küçük kristal boyutlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Yapılan AFM ölçümlerinde ise polimer filmlerin yüzey pürüzlülük değerlerinin 16 nm ile 240 nm arasında değiştiği gözlemlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri P(VA)-BF örneğinde elde edilmiştir. Elektriksel ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ortalama engel yüksekliği akım-gerilim ölçümlerinden 0,68±0,02 eV, kapasitans-gerilim ölçümlerinden de 0,75±0,02 eV olarak elde edilmiştir

Polimer filmlerin VSM ölçümlerinden histeresis eğrileri elde edilmiştir. Histeresis eğrileri incelendiğinde polimer filmlerin ferromanyetik özellik gösterdikleri görülmektedir. En yüksek doyum mıknatıslanma değerine sahip örnek P(VA)-BF olarak ölçülmüştür. MFM resimlerinde gözlenen parlak ve mat bölgeler mıknatıslanma yönlerini belirtmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polimerler, Baryum Ferrit, Manyetik özellikler, Nano yapılar

2014, ix + 49 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF MAGNETIC PROPERTIES OF POLYMER THIN FILMS

Şenol GÜNEŞ

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY

In this thesis, the structural, electrical and magnetic properties of three different type polymer films doped with barium ferrite nano particles have been investigated. XRD and AFM techniques were used for structural investigations. I-V and C-V measurements were used for electrical investigations and VSM and MFM were used for investigation of magnetic properties.

In structural investigations, polymer films doped with barium ferrite have a very small crystalline size. The AFM results showed that the range of the polymer films surface roughness value is between 16 nm and 240 nm. The lowest surface roughness value was obtained in P(VA)-BF. Electrical measurements were carried out at room temperature. The average barriers heights of 0,68±0,02 eV and 0,75±0,02 eV was obtained from current-voltage and capacitance-voltage measurements, respectively.

The hysteresis curves of the polymer films were obtained by VSM measurement. As can be seen from hysteresis curves, polymer films show ferromagnetic behavior. The highest saturation magnetization value was measured in P(VA)-BF. The bright and dark areas in MFM image is represented magnetization direction.

Key words: Polymers, Barium Ferrite, Magnetic properties, Nanoparticles

2014, ix + 49 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana her zaman yardımcı olan danışman hocam Doç. Dr. S. Kemal AKAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım esnasında beni daima destekleyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Şenol Güneş

25/12/2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	3
2.1. Polimerler	3
2.1.1. Polimerlerin sentezi	4
2.1.1.1. Katılma (Zincir) polimerizasyonu	4
2.1.1.2. Basamak (Kondenzasyon) polimerizasyonu	5
2.1.2. Polimerizasyon yöntemleri	5
2.1.2.1. Kütle (Blok) polimerizasyonu	5
2.1.2.2. Emülsiyon polimerizasyonu	6
2.1.2.3. Çözelti polimerizasyonu	6
2.1.2.4. Süspansiyon polimerizasyonu	7
2.2. Yarıiletkenler	8
2.2.1. Doğal yarıiletkenler	8
2.2.2. Katkılı (Doğal olmayan) yarıiletkenler	9
2.3. Termoiyonik Emisyon Teorisi	12
2.4. Manyetizma	15
2.4.1. Manyetik alan ve manyetik maddelerin sınıflandırılması	15
2.4.1.1. Diamanyetik maddeler	17
2.4.1.2. Paramanyetik maddeler	18
2.4.1.3. Ferromanyetik maddeler	18
2.4.2. Ferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri	19
2.4.2.1. Geçirgenlik ve artık mıknatıslanma	19
2.4.2.2. Histeresis eğrisi ve özellikleri	20
2.4.3. Ferromanyetik maddelerin sınıflandırılması	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Polimer İnce Filmlerin Üretilmesi	23
3.2. X-Işınları Kırınımı	25
3.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu	27
3.4. Elektrik Özellikler	28
3.4.1. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri	28
3.4.2. Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri	30
3.5. Manyetik Özellikler	31
3.5.1. Titreşimli örnek manyetometresi	31
3.5.2. Manyetik kuvvet mikroskobu	33
4. BULGULAR	34
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
I	Akım
J	Akım yoğunluğu
E_a	Alıcı enerji seviyesi
E_D	Alıcı uyarılma enerjisi
χ	Alınganlık
$\vec{B}_r$	Artık manyetik indüksiyon
ε_r	Bağıl geçirgenlik
μ_r	Bağıl manyetik geçirgenlik
U	Bağlayıcı potansiyel
k	Boltzmann sabiti
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği
T_c	Curie sıcaklığı
p	Değerlik bandındaki boşluk yoğunluğu
n_i	Doğal taşıyıcı yoğunluğu
I_s	Doyum akımı
$g(E)$	Durum yoğunluğu
ε	Elektromotor kuvveti
m_e^*	Elektron etkin kütlesi
m	Elektron kütlesi
$n(E)$	Elektron yoğunluğu
e	Elektron yükü
E	Enerji
E_F	Fermi enerjisi
$f(E)$	Fermi-Dirac olasılık dağılımı
h_i	Herhangi bir i noktasındaki yüzey yüksekliği
β	İdealite faktörü
n	İletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu
E_c	İletkenlik bant sınırı
V	İndüklenen potansiyel farkı
W	İş fonksiyonu
R_q	Kök ortalama kare yüzey pürüzlülüğü
Φ	Manyetik akı
$\vec{B}$	Manyetik akı yoğunluğu
$\vec{H}$	Manyetik alan şiddeti
$\vec{M}_s$	Manyetik doyum

$\vec{M}$	Mıknatıslanma
T	Mutlak sıcaklık
Φ_{b0}	Ortalama engel yüksekliği
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
μ	Ortamın manyetik geçirgenliği
h	Planck sabiti
A_R	Richardson sabiti
N	Sarım sayısı
$\vec{H}_c$	Sıfırlayıcı alan
E_v	Valans bant sınırı
E_d	Verici enerji seviyesi
E_A	Verici uyarılma enerjisi
J_x	x doğrultusundaki termal elektron akım yoğunluğu
v_x	x yönündeki elektronların hızı
E_g	Yasak bant aralığı

Kısaltmalar	**Açıklama**
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
BF	Baryum ferrit
DVB	Divinylbenzene
EGDMA	Etilen glikol dimetakrilat
emk	Elektromotor kuvvet
MFM	Manyetik kuvvet mikroskobu
P	Polimer
RMS	Kök ortalama kare
SWCNT	Tek duvarlı karbon nano tüp
VA	Vinil alkol
VSM	Titreşimli örnek manyetometresi
XRD	X-ışını kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Polimerlerin bazı zincir yapıları: (a) doğrusal, (b) dallanmış, (c) çapraz bağlı	3
Şekil 2.2.	Bazı kopolimer çeşitleri: (a) ardışık (b) blok (c) düzensiz	4
Şekil 2.3.	n-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi	10
Şekil 2.4.	p-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi	11
Şekil 2.5.	Diamanyetizma	17
Şekil 2.6.	Paramanyetizma	18
Şekil 2.7.	Ferromanyetizma	19
Şekil 2.8.	Histeresis eğrisi	20
Şekil 2.9.	Ferromanyetizma, Paramanyetizma ve Süperparamanyetizma	22
Şekil 3.1.	Monomerlerin kimyasal yapıları a) DVB($C_{10}H_{10}$), b) EGDMA($C_{10}H_{14}O_4$) ve c) VA (C_2H_4O)	23
Şekil 3.2.	XRD Cihazı	26
Şekil 3.3.	AFM Sistemi	28
Şekil 3.4.	I-V ölçüm sistemi şeması	29
Şekil 3.5.	C-V ölçümlerinde kullanılan deney düzeneği şeması	30
Şekil 3.6.	VSM Sistemi	31
Şekil 4.1.	P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin XRD desenleri	34
Şekil 4.2.	P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin histeresis eğrileri	35
Şekil 4.3.	P(VA)-BF filmin 10 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri	36
Şekil 4.4.	P(VA)-BF filmin 15 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri	37
Şekil 4.5.	P(VA)-BF filmin 20 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri	37
Şekil 4.6.	P(EGDMA)-BF filmin AFM ve MFM resimleri a) topografik ve b) MFM resimleri	38
Şekil 4.7.	P(DVB)-BF filmin AFM ve MFM resimleri a) topografik ve b) MFM resimleri	39
Şekil 4.8.	P(VA)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi	40
Şekil 4.9.	P(EGDMA)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi	41
Şekil 4.10.	P(DVB)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi	42
Şekil 4.11.	n-Si/EGDMA/SWCNT numunesinin oda sıcaklığındaki ileri yön ve ters yön akım-gerilim karakteristiği	44
Şekil 4.12.	n-Si/EGDMA/SWCNT numunesinin oda sıcaklığındaki $1/C^2$-V grafiği...	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Manyetik özellikleri incelenen filmlerin polimerizasyonunda kullanılan bileşenler 24

Çizelge 3.2. Elektrik özellikleri incelenen filmin polimerizasyonunda kullanılan bileşenler 25

Çizelge 4.1. P(VA)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(DVB)-BF filmlerin manyetik parametreleri 35

Çizelge 4.2. P(VA)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(DVB)-BF filmlerin yüzey pürüzlülükleri 42

1. GİRİŞ

Çeşitli nano malzemelerin (parçacıkların) polimer veya metal matrisleri içine katılmasıyla nano kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu katkılama işlemiyle malzemelerin mukavemet, elektrik ve manyetik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir.

Hegzagonal kristal yapıya sahip olan baryum ferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) oldukça yüksek manyetik anizotropi, yüksek Curie sıcaklığı, yüksek mıknatıslılık ve mükemmel korozyon özdirenci nedeniyle iyi bilinen bir yüksek performanslı kalıcı manyetik malzemedir (Xu ve ark. 2007, Li ve ark. 2013). Hegzagonal ferrit yapılar spinel ferrit yapılara göre yüksek mıknatıslanma değerleri ve önemli derecede geçirgenlikleri (>1) nedeniyle mikro dalga emici malzeme üretimleri için daha uygundur. Baryum ferrit katkılı malzemeler son zamanlarda, disk sürücüler, mikrodalga aygıtlar, telekomünikasyon ve manyetik kayıt ortamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek kaliteli oldukça küçük boyutlarda baryum ferrit parçacıklar üretebilmek için sol-gel, püskürtme tekniği, hidrotermal işleme, cam kristalleştirme yöntemi ve emülsiyon teknikleri kullanılmaktadır (Kaewrawang ve ark. 2010, Pramanik ve ark. 2012, Masoudparah ve Ebrahimi 2012, Durmus ve ark. 2012, Lisjak ve Ovtar 2013).

Mikro emülsiyon tekniği iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemeler ile spinel ferritlerin üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Pillia ve ark. (1992) mikro emülsiyon tekniğini kullanarak oldukça küçük boyutlu baryum ferrit nano parçacıklar üretmişlerdir. Bu teknikle üretilen baryum ferrit nano yapıların daha iyi manyetik özellik gösterdikleri gözlemlenmiştir (Yu ve Liu 2006).

Polimerik ön işleme dayanan sol-gel yöntemi ise farklı matrisler içerisine dağılmış çok ince parçacıklardan oluşan ince filmler hazırlamak için etkili bir yöntemdir. Daha iyi homojenlik, düşük işlem sıcaklığı bu yöntemin avantajları olarak bahsedilebilir. Ayrıca bu yöntemle hazırlanan ince filmlerin yüzey morfolojilerinin, yapılarının ve kimyasal kompozisyonlarının kontrolü sağlanabilir (Mohallem ve ark. 2006, Murthy ve ark. 2012).

Bu çalışmanın amacı, baryum ferrit nano parçacıklar ile katkılanan çeşitli polimer filmlerin, yapısal, elektriksel ve manyetik özelliklerinin incelenmesi üzerinedir. Bu çalışmada DVB, EGDMA ve VA polimerleri kullanılmıştır. P(DVB)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(VA)-BF filmler yüzey polimerizasyon yöntemiyle üretilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların yeni sınıf manyetik polimerik filmlerin üretilmesine yönelik bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

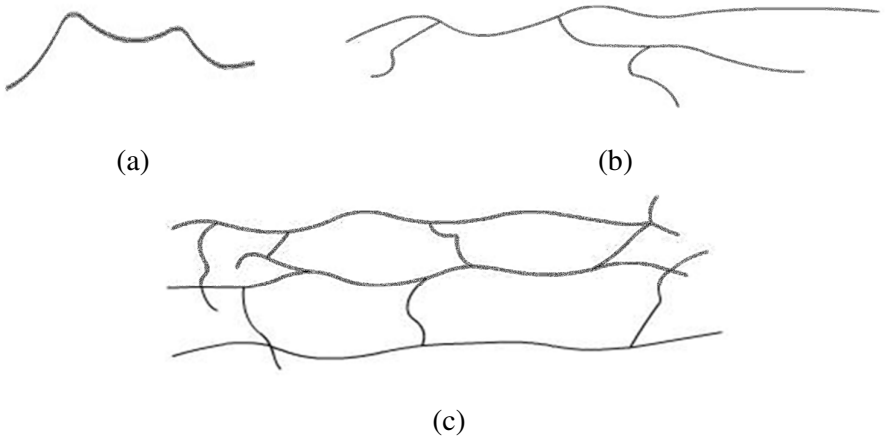
2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Polimerler

Polimerler, monomer denen küçük moleküllerin birbirlerine kimyasal bağlar ile bağlanması sonucu oluşan zincir yapılı makro moleküllerden oluşan doğal veya sentetik bileşiklerdir. Monomerlerden polimerlerin elde edilmesini sağlayan kimyasal tepkimelere polimerleşme tepkimeleri denir. Bir polimer molekülünde yüzlerce, binlerce, hatta bazen daha fazla monomer birbirine bağlanmış olabilir.

Başlıca yapay polimerik maddeler plâstikler, fiberler, reçineler, yapıştırıcılar vb. polimerleri kapsar. Yapay olarak elde edilen polimerlerin dışında, çevremizde doğal polimerler de bulunmaktadır. Doğal polimerlere örnek olarak ise doğal kauçuk, proteinler, nükleik asitler (DNA, RNA), enzimler, nişasta ve selüloz verilebilir (Baysal 1994).

Aynı cins veya farklı cins monomerler birbirleriyle bağ yaparak polimer zincirlerini oluşturur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleriyle olan etkileşimleri polimerin özelliklerinde belirleyici bir rol oynar. Polimerler zincir şekillerine göre Şekil 2.1'de gösterildiği gibi doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Polimerlerin bazı zincir yapıları: (a) doğrusal, (b) dallanmış, (c) çapraz bağlı (Demirbel 2011)

Makro molekül içinde tekrarlayan küçük birimler bir doğru boyunca bağlanmışsa doğrusal polimer, ana zincir üzerinde dallanma olursa dallanmış polimer meydana gelir. Eğer polimer zincirleri kendi aralarında birbirleriyle belirli yerlerde bağlanmışsa böyle polimerlere de çapraz bağlı polimer denir (Demirbel 2011).

Tek tip monomerden oluşan polimerlere homopolimer, iki veya daha fazla farklı tip monomerden oluşan polimerlere ise kopolimer denir. Polimerik maddelerdeki polimer zincirleri monomerin aynısı veya çok benzeri bir karakteristik grubun zincir boyunca tekrarlanmasıyla meydana gelir (Beşergil 2003).

Kopolimerler monomerlerinin dağılışına göre ardışık, blok, düzensiz ve dallanmış kopolimerler olarak gruplandırılabilir. A ve B iki farklı monomeri göstermek üzere Şekil 2.2'de bazı kopolimer çeşitleri temsili olarak gösterilmektedir.

-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B- **-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-** **-A-B-B-A-B-A-A-A-B-B-**

(a) (b) (c)

Şekil 2.2. Bazı kopolimer çeşitleri: (a) ardışık (b) blok (c) düzensiz

2.1.1. Polimerlerin sentezi

Çok sayıdaki aynı veya farklı tür monomerlerin bir kimyasal tepkime ile birbirleriyle birleşerek uzun zincirler oluşturmasına polimerizasyon denir. Polimerizasyon tepkimeleri bağ oluşum mekanizmasına göre basamaklı-büyüme reaksiyon polimerizasyonu ve zincir-büyüme (katılma) reaksiyon polimerizasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır (Beşergil 2003).

2.1.1.1.Katılma (Zincir) polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri, büyümekte olan polimer zincirlerine birer birer ve hızla katılırlar. Büyüme tepkimeleri her zaman aktif zincirlerle monomer molekülleri arasındadır (Kara 2004).

2.1.1.2. Basamak (Kondenzasyon) polimerizasyonu

Basamaklı polimerler; kondenzasyon, Micheal katılması, gibi organik tepkimelerle hazırlanabilir. Bu tepkimeler içinde en çok kullanılanı kondenzasyon tepkimeleri olduğu için bu kavram basamaklı polimerizasyon yerine kullanılmaktadır (Kara 2004).

2.1.2. Polimerizasyon yöntemleri

Polimerizasyon yöntemleri dört ana grup altında toplanmaktadır:

1.Kütle (Blok) polimerizasyonu

2.Emülsiyon polimerizasyonu

3.Çözelti polimerizasyonu

4.Süspansiyon polimerizasyonu

2.1.2.1. Kütle (Blok) polimerizasyonu

Bu polimerizasyon yönteminde monomer, doğrudan doğruya ya da çok az katkı maddeleri ile belli sıcaklık ve basınçta polimerleştirilir. Yabancı maddelerin polimerizasyon ortamına girme olasılığı çok azdır ve polimer ürününün ayrılması kolaydır. Oldukça saf polimerler bu yöntemle sentezlenebilmektedir (Kara 2004). Bu polimerizasyonun diğer polimerizasyon yöntemlerine göre üstünlükleri şunlardır:

- Polimerizasyon hızının yüksek olması
- Uygulama kolaylığı
- Ekonomik olması
- Saf polimer elde edilmesi
- Polimerin doğrudan işlenebilmesi

Sıcaklık kontrolünün zor olması ve tepkimeye girmeyen monomerlerin temizlenmesinin gerekmesi bu yöntemin dezavantajlarıdır.

2.1.2.2. Emülsiyon polimerizasyonu

Uygun emülsiyon yapıcılar yardımı ile su içinde çok ince dağılmış monomerlerin polimerleştirilmesi yöntemidir. Su da çözünen bir başlatıcı bulunur. Ortam devamlı karıştırılarak monomerlerin çok küçük parçacıklar halinde dağılması sağlanır (Demirbel 2011).

Bu polimerizasyon da başlatıcı madde monomer damlacıklarında çözünmediği için polimerizasyon monomer fazında ilerlemez. Başlatıcıdan üretilen radikaller ve monomer, miseller içinde toplanır böylece miseller hacimlerini artırarak monomerle şişer ve polimerizasyon için ortam oluşmuş olur (Kara 2004).

Bu yöntemin kütle, çözelti ve süspansiyon polimerizasyonuna göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Diğer yöntemlerde polimerizasyon hızıyla ortalama molekül ağırlığı (polimerizasyon derecesi) azalmaktadır. Emülsiyon polimerizasyonunda ise; yüksek polimerizasyon hızı ile yüksek molekül ağırlıklarına erişilebilir.
- Emülsiyon polimerizasyonunda polimerizasyon sıcaklığı 0-80^{o}C olduğundan reaksiyon adımları kolaylıkla kontrol edilebilir.
- Emülsiyon polimerizasyonunda ortam viskozitesi düşük olması nedeniyle karıştırma, ısı transferi ve ürün transferi kolaydır.
- Sürekli üretim için uygundur.
- Dağıtma ortamı olarak organik çözücü yerine su kullanılması hem az maliyetli hem de diğer çözücü ortamlara göre daha sağlıklı çalışılmasını sağlamaktadır.

Dezavantajları ise, daha fazla katkı maddesi kullanılması nedeniyle homojen olmayan bir yapı elde edilir. Katı polimer elde etmek için ayırma, saflaştırma ve kurutma gibi ek basamaklara ihtiyaç vardır. Ayrıca polimerizasyon sistemi ortamın pH'ına bağlıdır (Kara 2004, Demirbel 2011).

2.1.2.3. Çözelti polimerizasyonu

Çözelti polimerizasyonunun başlangıcında polimerizasyon ortamında monomer, çözücü ve başlatıcı bulunmaktadır. Bu polimerizasyon da monomer, zincir transferi olmayan

uygun bir çözücü içerisinde polimerleştirilir. Çözücü polimerizasyon ortamını seyrelttiği için viskozite düşer, karıştırma kolaylaşır ve daha etkin bir ısı transferi yapılabilir.

Polimerizasyonda kullanılan çözücü hem monomeri hem de başlatıcıyı çözerse polimerizasyon homojen bir ortamda başlar, ilerler ve sonlanır. Buna homojen çözelti polimerizasyonu denir (Kara 2004).

Çözelti polimerizasyonlarında çözücü seçimine çok dikkat edilmelidir. Çözücünün erime ve kaynama noktası, polimerden uzaklaştırılabilir olması, pahalı ve sağlıksız olmaması önemlidir. Çözelti polimerizasyonunun avantajları şunlardır:

- Viskozitenin düşük olması.
- Sıcaklık kontrolünün sağlanması.
- Ürünün hemen kullanılabilmesi (boya, yapıştırıcı).

Çözücüye zincir transfer reaksiyonları sonucu molekül ağırlığında düşme gözlenmesi ve çözücünün varlığı nedeniyle polimerizasyonun hızının yavaşlaması dezavantajları olarak sayılabilir (Kara 2004).

2.1.2.4. Süspansiyon polimerizasyonu

Süspansiyon polimerizasyonunda dağıtıcı ortam genellikle sudur. Başlatıcı; monomer damlacıklarında çözünür. Ortam sürekli olarak karıştırılarak süspansiyonun devamlılığı sağlanır. Süspansiyon polimerizasyonunun avantajları şunlardır:

- Düşük ortam viskozitesi ve iyi karıştırmaya bağlı olan sıcaklık kontrolünün mükemmel olmasıdır.
- Süspansiyon polimerizasyonunda reaksiyon hızı kütle polimerizasyonuna göre daha hızlıdır.
- Yüksek ısı kapasitesine sahip olan su, polimer damlalarında oluşan reaksiyon ısısını kolaylıkla alır.
- Kullanılan suyun ucuz olması önemli bir avantajdır.

- Süspansiyon polimerizasyonunda emülsiyon polimerizasyonuna göre; ürünün tanecik boyutu daha kolay ayarlanabilir. Katkı maddelerinin neden olduğu kirliliğin az olması nedeniyle daha basit ayırma ve saflaştırma işlemleri uygulanabilir.

Süspansiyon polimerizasyonunun kütle polimerizasyonuna göre dezavantajları ise; sürekli karıştırmayı gerektirmesi, süzme, yıkama, kurutma gibi üretimi karmaşık hale getiren işlemler içermesi verilebilir (Kara 2004, Demirbel 2011).

2.2. Yarıiletkenler

Son yıllarda elektronik endüstrisi hızlı bir şekilde gelişerek dünyadaki en büyük endüstri konumuna gelmiştir. Elektronik endüstrisinin temeli yarıiletken devre elemanlarına ve dolayısıyla yarıiletken maddelere dayanmaktadır. Yarıiletken maddelerin iletkenlikleri yalıtkanlar ile iletkenler yani metaller arasında bulunmaktadır. Yarıiletkenlerin elektronik devrelerde yaygın olarak kullanım alanı bulmasının en büyük nedeni iletkenliklerinin sıcaklık, manyetik alan, ışınlama veya elektriksel potansiyel farkı gibi dış etkenler ile değiştirilebiliyor olmasındandır. Yarıiletken maddeler içlerinde bulundurdukları atomlara göre doğal ve katkılı olarak iki ayrı başlık altında incelenebilir (Sze 2002).

2.2.1. Doğal yarıiletkenler

Doğal yarıiletkenlerin atomlarının en dış yörüngelerinde dört değerlik elektronu bulunur. Bu atomların değerlik elektronlarını komşu atomlar ile paylaşarak kovalent bağ yapması sonucu kristal yapı oluşur. Hiçbir örgü kusuru içermeyen ideal bir yarıiletken kristal doğal yarıiletken olarak isimlendirilir. Bu tip bir maddede mutlak sıfır sıcaklığında hiçbir yük taşıyıcısı yoktur. Çünkü tüm elektronlar değerlik bandında atomlarına bağlı durumdadır. Fakat sıcaklığın yükselmesi ile bazı elektronlar iletkenlik bandına çıkarlar. Böylece elektron-boşluk çiftleri oluşur. İletkenlik bandındaki elektronlar ile değerlik bandındaki boşluklar yük taşıyıcıları olarak adlandırılır ve akıma birlikte katkı sağlarlar. Yük taşıyıcıları çiftler halinde üretildiklerinden iletkenlik bandındaki elektronların yoğunluğu n ile değerlik bandındaki boşlukların p yoğunluğu birbirine eşit olur. Böylece doğal yarıiletkenler için,

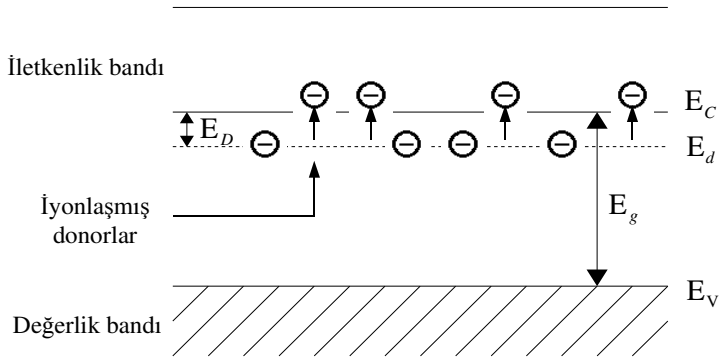
$$n=p=n_i \quad (2.1)$$

eşitliğini elde ederiz. Burada n_i doğal taşıyıcı yoğunluğu olarak adlandırılır. Doğal taşıyıcı yoğunluğunun değeri sıcaklıkla üstel olarak değişir, ancak yine de oda sıcaklığında metaller ile kıyaslandığında bu değer çok küçük kalır (Wilson ve Hawkes 2000).

2.2.2. Katkılı (Doğal olmayan) yarıiletkenler

Bir yarıiletkendeki yük taşıyıcıların sayısı uygun safsızlıkların kristal örgüsü içine katılmasıyla arttırılabilir. Zenginleştirme (katkılama) olarak adlandırılan bu işlem ile bir kristal değiştirilebilir ve böylece kristalin elektron veya boşluk açısından baskın olması sağlanabilir. Yani kristal ya çoğunluk taşıyıcıların negatif yüklü elektronlar ve azınlık taşıyıcıların boşluklar olduğu n-tipi veya çoğunluk taşıyıcıların boşluklar ve azınlık taşıyıcıların elektronlar olduğu p-tipi yapılabilir. Zenginleştirilmiş yarıiletkenlerde artık taşıyıcı yoğunlukları eşit olmaz ve böyle malzemeler doğal olmayan (katkılı) yarıiletken olarak adlandırılır (Kucur 2011).

Silisyum gibi dört değerlikli elementlerin zenginleştirilmesinde periyodik tablonun V. kolonundaki fosfor ve arsenik gibi safsızlıklar kullanıldığında n-tipi, III. kolondaki bor ve indiyum gibi safsızlıklar kullanıldığında p-tipi yarıiletken elde edilir. Örneğin doğal silisyum fosfor ile zenginleştirildiğinde fosfor atomlarının kristal yapıda normalde silisyum atomları tarafından doldurulması gereken atomik bölgeleri işgal ettiği görülür. Silisyum atomları dört değerlikli olduklarından fosfor atomlarının beş değerlik elektronunun sadece dört tanesi kovalent bağları oluşturmada kullanılır, kalan bir elektron atomuna zayıfça bağlanır. Bu elektron kolaylıkla serbest hale getirilir; yani bu elektron kolaylıkla iletkenlik bandına uyarılabilir. Böylece enerji bant modelinde bu safsızlıklara ait fazla elektronlar için enerji seviyeleri Şekil 2.3'de gösterildiği gibi iletkenlik bandının hemen altında E_d seviyesinde bulunur.



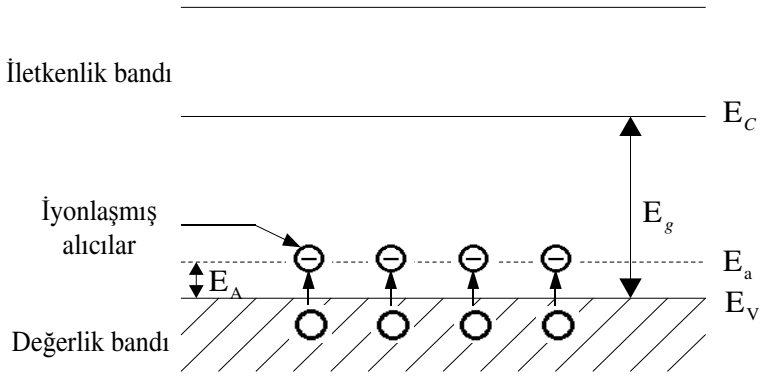
Şekil 2.3. n-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi

Böyle safsızlıklar donorlar (vericiler) ve E_d'deki enerji seviyeleri de verici (donor) seviyeleri olarak isimlendirilirler. Bunun sebebi bunların iletkenlik bandına elektron vermelerinden dolayıdır. Bir elektronu donor seviyesinden iletkenlik bandına uyarmak için gerekli enerji, E_c iletkenlik bandının dibini göstermek üzere (E_c-E_d)'ye eşit E_D değeridir. Değerlik bandının tepesindeki E_v enerjisini sıfır alırsak, bu durumda E_g=E_c ve böylece de E_D=E_g-E_d olur. Mutlak sıfırda E_D oldukça küçük olduğundan donor seviyeleri doludurlar; normal düşük sıcaklıklarda bile elektronların çoğu iletkenlik bandına uyarılırlar ve serbest elektron yoğunluğunu dolayısıyla da malzemenin iletkenliğini arttırırlar.

E_D'yi şu şekilde tanımlayabiliriz. Eğer fosfor safsızlık atomu beşinci değerlik elektronunu kaybederse $+e$ net pozitif yüke sahip olur. Böylece bu elektronun, bir $+e$ yükünün bir elektronu çekirdeğe bağladığı hidrojen atomunda bulunan duruma benzer bir durumda atoma bağlanacağını düşünebiliriz. Hidrojen atomundaki bağlanma enerjisi 13,6 eV'tur. Fakat tartıştığımız bu durumda, bir katıda hareket eden elektron olması gerçeğinden ötürü iki önemli fark göze çarpar. Bunlardan birincisi serbest elektron kütlesi yerine m_e^* etkin kütlesini kullanmak zorunda olmamızdır. İkincisi ise, yarıiletkenin bağıl geçirgenliğinin elektron enerji seviyelerinin türetilmesinde olaya katılma zorunluluğudur (Pierret 1996). Bunun sebebi elektron yörüngesinin oldukça fazla sayıda silisyum atomunu içine alacak kadar büyük olması ve böylece elektronun ε_r bağıl geçirgenliğine sahip bir dielektrik ortamda hareket ediyor olarak ele alınabilmesidir. Böylece E_D uyarma enerjisi,

$$E_D = 13,6 \frac{m_e^*}{m} \left(\frac{1}{\varepsilon_r} \right)^2 eV \qquad (2.2)$$

yazılabilir. Diğer taraftan silisyumun üç değerlik elektronlu bor ile zenginleştirildiğini varsayalım. Bu durumda da safsızlık atomları silisyum atomları tarafından doldurulmuş yerleri işgal ederler. Ancak, kovalent bağı tamamlamak için bir elektron eksiği vardır. Mutlak sıfır sıcaklığında komşu silisyum atomundan gelen bir elektron bağı tamamlamak için safsızlığa doğru hareket edebilir, fakat böyle yaptığında değerlik bandında bir boşluk bırakılır. Bu, fazladan bir boşluk üretir. Bu sebeple üç değerlikli safsızlıklar, değerlik bandından uyarılmış elektronları kabul etmeleri sebebiyle, alıcı olarak isimlendirilirler. Bu durumu, yukarıda bahsedilene benzer şekilde, etrafında dönen pozitif bir boşluğa sahip negatif bir iyonlaşmış alıcı atom olarak ele almak uygundur.



Şekil 2.4. p-tipi yarıiletkenin şematik gösterimi

Komşu safsızlığından boşluğu serbest bırakmak için gerekli, E_a-E_v'ye eşit olan, E_A enerjisi yukarıdaki gibi tahmin edilebilir. Silisyumdaki boşlukların etkin kütlesinin ortalama değeri 0,33m'dir ve 2.2 eşitliğinden E_A=0.032 eV bulunur. Elbette ki gerçekte E_A, Şekil 2.4'de de gösterildiği gibi, bir elektronu değerlik bandından değerlik bandının hemen üzerinde bulunan alıcı enerji seviyelerine uyarmak için gerekli enerjidir (Kucur 2011).

2.3 Termoiyonik Emisyon Teorisi

Yüksek sıcaklıklardaki metallerden elektron yayılması olayına termoiyonik emisyon denir. Metallerde değerlik elektronları iletkenlikten sorumludur. Sıcaklık arttıkça bu elektronlar hızlanır ve yeterli enerjiyi kazandıklarında metal yüzeyinden ayrılabilirler. Böylece sıcaklık arttıkça emisyon da artar. Emisyon akımı Richardson kanunu ile ifade edilir.

Artı x doğrultusundaki termal elektron akım yoğunluğunu J_x (A/m^2) ile gösterilsin. Metalin vakum ortamında bulunduğunu varsayalım. Bu durumda akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_x = \int en(E)v_x(E)dE \tag{2.3}$$

şeklinde verilir. Burada *e* elektronun yükü, *n(E)* elektron yoğunluğu, $v_x(E)$ de x yönündeki elektronların hızıdır. İntegral x doğrultusunda potansiyel engelini aşmaya yeterli tüm elektron enerjileri üzerinden alınır.

Elektron yoğunluğu ifadesini,

$$n(E)=g(E)f(E) \tag{2.4}$$

şeklinde yazabiliriz. Burada *g(E)* durum yoğunluğu, *f(E)* ise E enerjili bir durumun doldurulma olasılığıdır. Elektronlar 1/2 spinli parçacıklar olduklarından Fermi-Dirac istatistiğine uyarlar. Buna göre,

$$g(E) = \frac{8\pi\sqrt{2}}{h^3} m^{3/2}\sqrt{E} \tag{2.5}$$

$$f(E) = \frac{1}{1+\exp\left(\frac{E-E_F}{kT}\right)} \tag{2.6}$$

ifadeleri yazılabilir. Burada h, Planck sabiti, k, Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır.

Eşitlik 2.6'daki E_F Fermi enerjisi, bağlayıcı sabit U potansiyelinde elektronların sahip oldukları en yüksek enerjidir. Sadece E enerjisi E_F' den çok çok büyük olan elektronlar metalden kaçabilir. Bu durumda *f(E)* Boltzmann dağılımına yaklaşacağından,

$$f(E) = \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right) \tag{2.7}$$

yazılabilir. Metaldeki serbest elektronlar, sabit bağlayıcı U potansiyelinin oluşturduğu potansiyel kuyusunda gibi düşünülür. Fermi enerjisine kadar tüm olası seviyeler doldurulmuştur. En yüksek enerjili elektronlar metali terk etmek için W iş fonksiyonu kadar enerjiye ihtiyaç duyarlar.

Şimdi 2.4 eşitliğinde 2.5 ve 2.7 eşitliklerini yerine yazarak,

$$n(E)dE = \frac{8\sqrt{2}\pi}{h^3} m^{3/2} \sqrt{E} \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right) dE \tag{2.8}$$

ifadesini elde ederiz. Kinetik enerji ifadesinden,

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow dE = mvdv$$

$$\sqrt{E}dE = \frac{1}{\sqrt{2}} m^{1/2} v \cdot mvdv = \frac{1}{\sqrt{2}} m^{3/2} v^2 dv \tag{2.9}$$

yazar ve 2.9 eşitliğini 2.8 ile birleştirirsek;

$$n(E)dE = \frac{8\pi}{h^3} m^3 \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right) v^2 dv \tag{2.10}$$

bulunur. Şimdi denklem 2.10'u 2.3 eşitliğinde yerine yazdığımızda,

$$J_x = \int e v_x(E) \frac{8\pi}{h^3} m^3 \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right) v^2 dv$$

$$J_x = \int e v_x(E) \frac{8\pi}{h^3} m^3 \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) v^2 dv$$

$$J_x = e\frac{2}{h^3} m^3 \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \int v_x(E) \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) 4\pi v^2 dv \tag{2.11}$$

bulunur. İntegral v hızı üzerinden alınır ve v_x bileşeni potansiyel engelini aşmak için gerekli minimum hızdan başlar. Çünkü sadece $v_{x,min}$ hızından yüksek hızdaki elektronlar metalden ayrılabilir. Minimum v_x değerini

$$v_{x,\min} = \sqrt{\frac{2U}{m}} \tag{2.12}$$

şeklinde ifade edebiliriz. Enerjiyi hızın bileşenleri cinsinden yazarsak,

$$J = \frac{2em^3}{h^3} \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \int_{v_{x,\min}}^{\infty} v_x \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{mv_y^2}{2kT}\right) dv_y \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{mv_z^2}{2kT}\right) dv_z$$

bulunur. Bu integrallerin değerleri,

$$\int_{v_{x,\min}}^{\infty} v_x \exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right) dv_x = \exp\left(-\frac{mv_{x,\min}^2}{2kT}\right) \frac{kT}{m} \tag{2.13}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-cx^2) dx = \sqrt{\frac{\pi}{c}} \tag{2.14}$$

olduğundan,

$$J = \frac{2em^3}{h^3} \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \frac{kT}{m} \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}}$$

$$J = \frac{4\pi emk^2}{h^3} T^2 \exp\left(\frac{E_F - U}{kT}\right) \tag{2.15}$$

$$J = A_R T^2 \exp\left(-\frac{W}{kT}\right) \tag{2.16}$$

bulunur. Burada A_R Richardson sabiti adını alır ve değeri $A_R = 1,2 \cdot 10^6 A/m^2K^2$ dir. İş fonksiyonu W=U-E_F elektronun metalden kopması için gerekli minimum enerjidir.

2.4. Manyetizma

Manyetizma, temel olarak elektrik yüklerinin hareketinden kaynaklanmaktadır. Maddenin atomunu oluşturan elektronlar ve çekirdek bir manyetik momente sahiptirler. Çekirdeğin manyetik momenti, elektronun manyetik momentinden daha zayıftır. Bu nedenle bir maddenin manyetik özelliklerini, elektronların oluşturduğu manyetik momentler belirler.

Elektronların manyetik momentleri, çekirdeğin etrafında yaptıkları yörüngesel hareketten ve kendi ekseni etrafında dönmesinden dolayı oluşan spin hareketinden kaynaklanmaktadır. Bu hareket bir halkadan geçen akıma benzetilebilir. Çok elektronlu bir atomun çeşitli spin ve yörüngesel manyetik momentleri sonucu oluşan toplam net manyetik moment atom içindeki elektronların düzenine bağlıdır (Küçük 1998).

2.4.1. Manyetik alan ve manyetik maddelerin sınıflandırılması

Manyetik alan tarafından az veya çok mıknatıslanabilen maddelere manyetik maddeler denir. Bu maddeler manyetik özelliklerine bağlı olarak diamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik madde olarak sınıflandırılırlar.

Manyetik alan, uzayda birim hacimdeki enerji değişimi olarak tanımlanır. Bu enerji değişimi, elektrik yüklerinin ivmelenmesi, akım taşıyan bir telde oluşan kuvvet ve belirli atomlarda elektron spinlerinin yön değiştirmesi gibi etkilere neden olmaktadır. Bir iletken üzerindeki elektrik akımı manyetik alan kaynağıdır (Chikazumi 1986).

Manyetik alan şiddeti ($\vec{H}$), birim uzunluktaki bir iletkenden geçen akım olarak bilinir ve sadece kendisini oluşturan akımın büyüklüğü ile orantılıdır. Manyetik alan şiddeti Biot-Savart ve Amper devre yasası kullanılarak hesaplanmaktadır.

Akım ile bir ortamda manyetik alan oluşturulduğu zaman, ortamın buna tepkisi manyetik akı yoğunluğu ($\vec{B}$) olarak tanımlanır. Manyetik alan uzayda nerede var ise orada manyetik akı (Φ) var demektir.

Manyetik akı yoğunluğu ile manyetik alan şiddeti arasındaki ilişki, ortamın manyetik geçirgenliği (μ) olarak isimlendirilmektedir. Birçok ortamda manyetik akı yoğunluğu ile alan şiddeti arasında doğrusal bir ilişki vardır. Boşluk için manyetik alan ile manyetik akı yoğunluğu arasındaki bağıntı,

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \tag{2.17}$$

şeklinde tanımlanır. Burada μ_0, boşluğun geçirgenliği olup değeri $4\pi \cdot 10^{-7}\ H/m$ dir. Eğer $\vec{B}$'nin değeri bilinirse, $\vec{H}$'nın değeri 2.17 eşitliğinden hesaplanabilir. Ancak ferromanyetik maddelerde $\vec{B}$ ile $\vec{H}$ arasında doğrusal bir bağıntı yoktur ve ortamın manyetik geçirgenliği manyetik indüksiyon ile değişmektedir. Bu yüzden bir ferromanyetik maddenin B-H eğrisi, o madde hakkında pek çok bilgi vermektedir.

Ferromanyetik maddelerde $\vec{B}$ ve $\vec{H}$ arasındaki bağıntı,

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \tag{2.18}$$

ile verilmektedir. Burada μ, ortamın manyetik geçirgenliği olup, manyetik indüksiyona bağlı olarak doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Manyetik indüksiyon ve akı, Faraday ve Lens yasaları ile hesaplanmaktadır (Akay 2005).

$\vec{M}$, mıknatıslanmayı göstermek üzere $\vec{B}$, $\vec{H}$ ve $\vec{M}$ arasındaki bağıntı,

$$\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M} \right) = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \tag{2.19}$$

ile verilmektedir. $\vec{M}$, mıknatıslanması sıfırlanmış veya hiç mıknatıslanmamış bir ferromanyetik madde için sıfırdır. Manyetik bir maddenin mıknatıslanma yeteneği olarak tanımlanan alınganlık ise;

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}} \tag{2.20}$$

şeklinde ifade edilir. Bir ortamın manyetik geçirgenliğinin, boşluğun manyetik geçirgenliğine oranı ise bağıl geçirgenlik olarak isimlendirilir ve

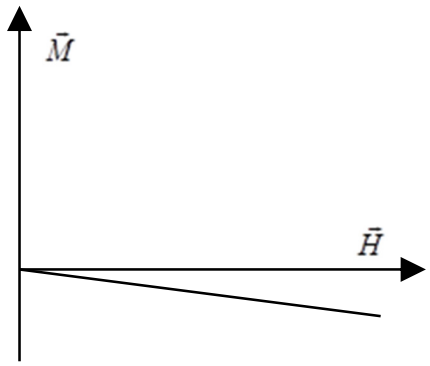
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \tag{2.21}$$

olarak ifade edilir. Denklem 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7 kullanılarak bağıl manyetik geçirgenlik ile alınganlık arasında 2.8 eşitliğindeki bağıntı elde edilir.

$$\mu_r = 1 + \chi \tag{2.22}$$

2.4.1.1. Diamanyetik maddeler

Diamanyetik maddeler, Şekil 2.5'de görüldüğü gibi uygulanan manyetik alana ters yönde zayıf bir mıknatıslanma gösterirler. Alınganlık negatif ve yaklaşık 10^{-5} mertebesindedir.



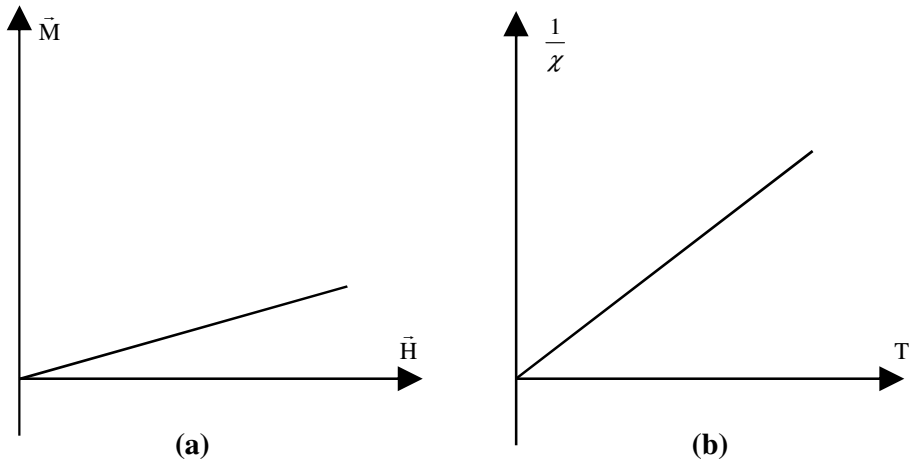
Şekil 2.5. Diamanyetizma

Bu tür mıknatıslanmanın temeli, maddeye dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında manyetik olarak indüklenen elektronların çekirdek etrafındaki yörüngesel hareketidir. Lens kanununa göre indüklenen akım dış manyetik alandaki değişmelere zıt bir

manyetik akı üretir. Diamanyetik maddelere örnek olarak bakır, altın, gümüş, bizmut ve berilyum verilebilir.

2.4.1.2. Paramanyetik maddeler

Paramanyetik maddelerde mıknatıslanma manyetik alanla doğru orantılıdır. Alınganlığın büyüklüğü pozitif ve 10^{-3} ile 10^{-5} arasındadır. Paramanyetik maddelerde birçok durumda manyetik atomlar veya manyetik iyonlar bulunmaktadır. Bu manyetik iyonların spinleri serbestçe yönlerini değiştirebilirler. Spinler sıcaklıkla uyarıldığında gelişigüzel yönelimler alırlar. Dış bir manyetik alan uygulandığında spinlerin ortalama yönelimi yavaşça değişir (Küçük 2003, Akay 2005). Böylece Şekil 2.6a'da görüldüğü gibi uygulanan manyetik alana paralel zayıf bir mıknatıslanma oluşur. Bu durumda alınganlık, Şekil 2.6b'de gösterildiği gibi sıcaklıkla ters orantılıdır. Alüminyum, platin ve manganez elementleri paramanyetik maddelere örnek olarak verilebilir.

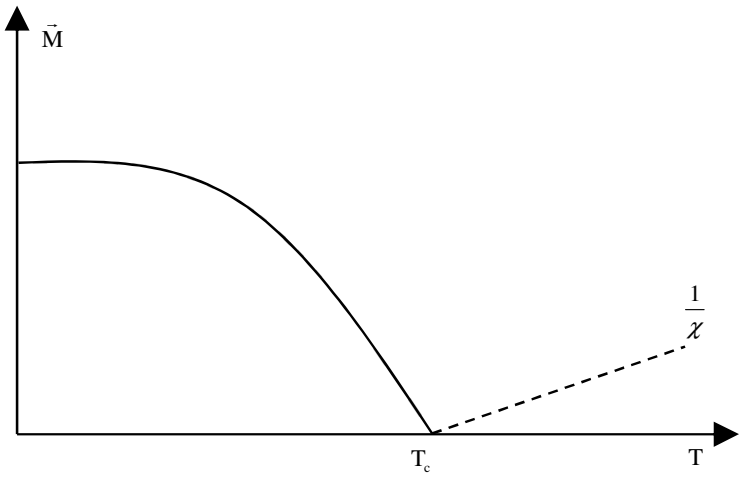


Şekil 2.6. Paramanyetizma

2.4.1.3. Ferromanyetik maddeler

Ferromanyetik maddelerde spinler birbirine paralel olarak yönelmişlerdir. Böylece komşu spinler arasında kuvvetli bir etkileşme söz konusudur. Ferromanyetizmada alınganlık çok yüksek değerlerdedir. Spin düzeni sıcaklık arttıkça uyarılmaktadır. Böylece Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, mıknatıslanma sıcaklığın artması ile azalır ve Curie sıcaklığı (T_c) değerinde sıfır olur. Bu sıcaklıktan sonra mıknatıslanma tekrar artar

ve madde paramanyetik özellik gösterir. Metaller için Curie sıcaklığı yaklaşık 770 °C civarındadır. Ferromanyetik maddelere örnek olarak demir, nikel ve kobalt verilebilir.



Şekil 2.7. Ferromanyetizma

2.4.2. Ferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri

Ferromanyetik maddelerin uygulama alanı çok çeşitlidir. Bu nedenle diğer manyetik maddelere göre daha büyük bir önemi hak ederler. En önemli özellikleri, kararlı manyetik alanlarla elde edilen kuvvetli manyetik indüksiyon, yüksek geçirgenlik ve artık mıknatıslanmadır.

2.4.2.1. Geçirgenlik ve artık mıknatıslanma

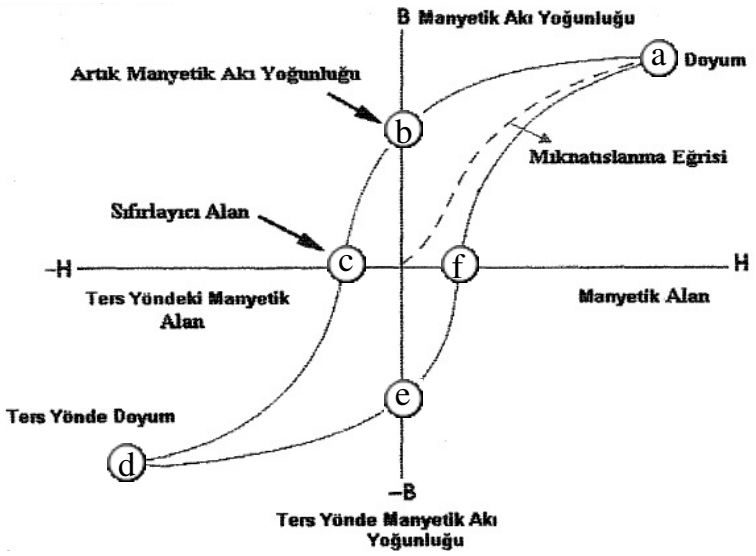
Ferromanyetik maddelerin en önemli özelliği yüksek geçirgenliği sahip olmalarıdır. Bu maddelerin geçirgenliği manyetik akı yoğunluğunun fonksiyonudur. Bir ferromanyetik maddenin özelliklerini belirlemek için manyetik alanın sürekli olduğu bir aralıkta manyetik alanın fonksiyonu olarak manyetik akı yoğunluğunu ölçmek histeresis eğrisini elde etmek için önemlidir. Ferromanyetik maddeler için başlangıç geçirgenliği 10^3-10^5 arasındadır (Akay 2005).

Ferromanyetik maddeler bir manyetik alana konulduğunda mıknatıslanmaktadır. Manyetik alan kaldırılsa bile maddede artık mıknatıslanma kalır. Artık mıknatıslanma ferromanyetik maddelere ait bir özelliktir. Ferromanyetik maddelerin uygulama için elverişliliği temel olarak oluşturdukları histeresis eğrisinin gösterdiği özellikten belirlenmektedir.

2.4.2.2. Histeresis eğrisi ve özellikleri

Ferromanyetik maddelerin manyetik özelliklerini belirlemenin en genel yolu manyetik akı yoğunluğunun manyetik alanla değişimini çizmektir. Diğer bir seçenek ise manyetik akı yoğunluğu yerine mıknatıslanmayı kullanmaktır.

Şekil 2.8'de gösterilen histeresis eğrisi, ferromanyetik maddelerin manyetik özelliklerini belirler. Bu manyetik özellikler; manyetik doyum $\vec{M}_s$, artık manyetik indüksiyon $\vec{B}_r$ ve sıfırlayıcı alan $\vec{H}_c$'dir.



Şekil 2.8. Histeresis eğrisi (Akay 2005)

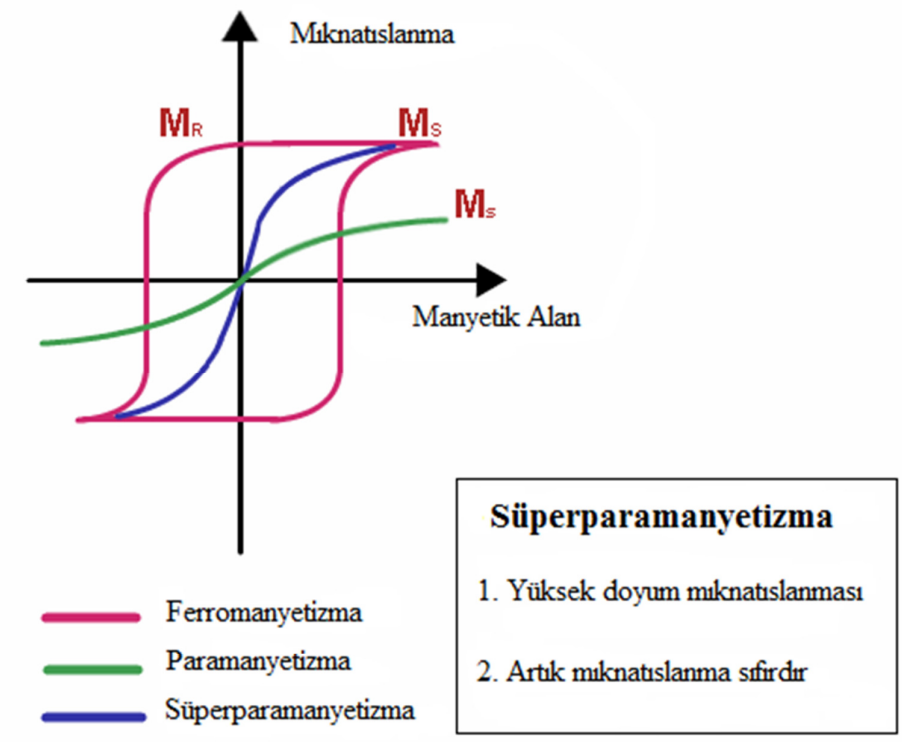
Önceden herhangi bir mıknatıslanmaya maruz kalmamış veya mıknatıslanması giderilmiş bir ferromanyetik madde, H'nin arttığı kesikli çizgiyi izlemektedir. Kesikli çizgide görüldüğü gibi, uygulanan manyetik alan ne kadar büyükse, malzeme daha büyük bir manyetik alana sahip olur. Manyetik alan arttırılmaya devam edilirse madde

doyuma ulaşır ve madde manyetik olarak ulaşabileceği en üst noktaya gelir. Bu durumda (a noktası) madde içindeki tüm manyetik momentler manyetik alanın yönünde yönelmişlerdir. Manyetik kuvvet sıfıra doğru azaldığında, eğri "a" noktasından "b" noktasına hareket edecektir. "b" noktasında mıknatıslanma sıfıra doğru azalsa da malzemede bir miktar mıknatıslanmanın kaldığı görülmektedir. Mıknatıslanma kuvveti terslendikçe eğri akının sıfır olduğu "c" noktasına doğru hareket etmektedir. Bu nokta sıfırlayıcı alan olarak isimlendirilir. Mıknatıslanma kuvveti ters yönde arttıkça, malzeme ters yöndeki manyetik doyum noktasına (d noktası) ulaşmaktadır. Azalan manyetik kuvvet eğriyi sıfır noktasına yani "e" noktasına götürmektedir. Pozitif yönde artan manyetik kuvvet manyetik akı yoğunluğunu sıfıra götürmektedir. Bu döngü bu şekilde devam etmektedir. Histeresis eğrisinden hareketle malzemelerin manyetik özellikleri belirlenebilmektedir (Akay 2005).

2.4.3. Ferromanyetik maddelerin sınıflandırılması

Ferromanyetik maddeler, sıfırlayıcı alana göre sınıflandırılırlar. Sıfırlayıcı alan madde yapısına duyarlı bir manyetik özelliktir. Farklı sıcaklık ve mekanik işlemler altında maddenin sıfırlayıcı alanı değişebilir. Ancak doyum mıknatıslanması bu olaylarla değişmez. Ferromanyetik maddeler sert ve yumuşak olmak üzere ikiye ayrılırlar. Manyetik olarak sert maddelerin sıfırlayıcı alanı 10 kA/m'nin üzerindedir. Yumuşak manyetik maddelerde ise 1 kA/m'nin altındadır. Yumuşak manyetik maddeler elektromıknatıslarda, transformatör ve rölelerin çekirdeklerinde, sert manyetik maddeler ise jeneratörlerde ve manyetik kayıt ortamları gibi mıknatıslanmanın kolay değişimi istenmeyen uygulamalarda kullanılmaktadır (Küçük 2003, Akay 2005).

Ferromanyetik maddelerin nano parçacıklarında, Curie sıcaklığının altında bile tıpkı paramanyetizmada olduğu gibi sıfır artık mıknatıslanma gözlenebilir. Ancak bu nano parçacıkların doyum mıknatıslanması da ferromanyetik maddeler kadar yüksek olabilir. Bu tür bir manyetizma süper paramanyetizma olarak adlandırılır. Şekil 2.9'da ferromanyetik, paramanyetik ve süperparamanyetik maddelerin histeresis eğrileri gösterilmiştir.

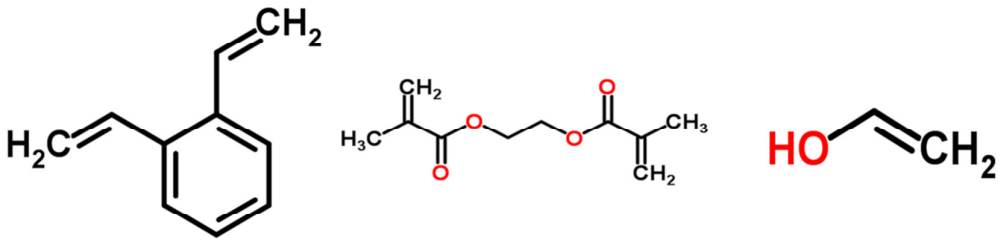


Şekil 2.9. Ferromanyetizma, Paramanyetizma ve Süperparamanyetizma (http://physics.tutorvista.com/electricity-and-magnetism/paramagnetism.html, 2013)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hegzagonal kristal yapıya sahip olan baryum ferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) iyi bilinen bir yüksek performanslı kalıcı manyetik malzemedir. Baryum ferrit hazırlanmasında püskürtme, sol-jel, hidrotermal yöntem, ters mikro emülsiyon tekniği gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan baryum ferrit nano tozların boyutu 50 nm dir ve Aldrich Chem. Co. (ABD)'den temin edilmiştir.

Polimer matrisi olarak divinilbenzen (DVB), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) ve vinil alkol (VA) kullanılmıştır. EGDMA Merck'den (Darmstad; Almanya) satın alınmıştır. Aktif aluminyum oksitten geçirilerek saflaştırılmıştır ve kullanılana kadar 4 ºC'de tutulmuştur. Başlatıcı olarak kullanılan azobisisobutyronitrile (AIBN) Fluka A.G.'den (Buchs, İsviçre) elde edilmiştir. Polivinil alkol, divinilbenzen ve çözücü olarak kullanılan toluen Aldrich Chem. Co.'den (ABD) temin edilmiştir. DVB, EGDMA ve VA monomerlerinin kimyasal yapısı Şekil 3.1'de verilmektedir.



(a) (b) (c)

Şekil 3.1. Monomerlerin kimyasal yapıları a) DVB($C_{10}H_{10}$), b) EGDMA($C_{10}H_{14}O_4$) ve c) VA (C_2H_4O) (http://www.chemspider.com, 2013)

3.1. Polimer İnce Filmlerin Üretilmesi

Manyetik özellikleri belirlenecek olan P(DVB)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(VA)-BF örnekleri cam altlıklar üzerine yüzey polimerizasyonu tekniği ile üretilmiştir. Üretim adımları aşağıdaki gibidir.

- 1,5ml toluen, 0,3ml EGDMA, 0,3ml DVB, 1,0g VA, 500mg AIBN ve 1,0g BF içeren her solüsyon ayrı ayrı P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin hazırlanmasında kullanılmıştır.
- Karışıma, başlatıcı AIBN eklenmeden önce 30 dakika süreyle azot tasfiyesi ile karışım gazdan arındırılmıştır.
- Sonra polimerizasyon, 2 saat boyunca 30 ºC'de karıştırarak, azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.
- Taban malzemesi aseton içinde 10 dakika bekletildikten sonra etanol ile yıkanarak temizlenmiştir. Temizlenen taban malzemeleri kurutulduktan sonra vakum içerisinde tutulmuştur.
- İki saatin sonunda solüsyon cam altlık üzerine aktarılmış, hemen temizlenmiş ve polimerizasyon işlemi bir gün boyunca 80 ºC'deki fırında devam etmiştir. Elde edilen polimer filmlerin kalınlığı yaklaşık 150 μm'dir.

Kullanılan materyaller Çizelge 3.1'de özetlenmektedir.

Çizelge 3.1. Manyetik özellikleri incelenen filmlerin polimerizasyonunda kullanılan bileşenler

Numune Adı	DVB	EGDMA	VA	AIBN	Toluen	BF
P(DVB)-BF	0,3 ml			500 mg	1,5 ml	1,0 g
P(EGDMA)-BF		0,3 ml		500 mg	1,5 ml	1,0 g
P(VA)-BF			1,0 g	500 mg	1,5 ml	1,0 g

Polimer filmlerin elektrik özelliklerini belirlemek amacıyla yarıiletken üzerine yeni örnekler hazırlanmıştır. Altlık olarak n-Si (100) kullanılmıştır. Silisyumun parlak ve mat yüzeyleri, polimer filmleri uygulanmadan önce HF (hidro florür) ile temizlenmiştir.

Standart temizleme işlemlerinden sonra n-Si'un alt tarafına (mat bölgeye) kontak alma amacıyla vakum buharlaştırma yöntemi kullanılarak %1 antimon katkılı altın kaplanmıştır. n-Si'un üst yüzeyine (parlak bölge) ise yüzey polimerizasyonu tekniği kullanılarak aşağıdaki adımlara göre polimer film uygulanmıştır:

- 1,5ml toluen, 0,3ml DVB, 0,5ml VIM, 0,050g AIBN ve 0,020g SWCNT içeren solüsyon P(DVB)/SWCNT/n-Si/Au, filmlerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

- Karışıma, başlatıcı AIBN eklenmeden önce 30 dakika süreyle azot tasfiyesi ile karışım gazdan arındırılmıştır.
- Sonra polimerizasyon, 2 saat boyunca 30 ºC'de karıştırarak, azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.
- Taban malzemesi HF ile temizlenmiştir. Temizlenen taban malzemeleri kurutulduktan sonra vakum içerisinde tutulmuştur.
- İki saatin sonunda solüsyon n-Si (100) altlık üzerine aktarılmış, hemen temizlenmiş ve polimerizasyon işlemi bir gün boyunca 80 ºC'deki fırında devam etmiştir. Elde edilen polimer filmlerin kalınlığı yaklaşık 150 µm'dir.

Üst kontak olarak gümüş pasta kullanılmıştır.

Kullanılan materyaller Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Elektrik özellikleri incelenen filmin polimerizasyonunda kullanılan bileşenler

DVB	VIM	AIBN	Toluen	SWCNT
0,3ml	0,5ml	0,050g	1,5ml	0,020g

3.2. X-ışınları Kırınımı

Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekniği x-ışını kırınımıdır. X-ışınlarının kristal yapı analizi için uygun olmasının iki temel nedeni vardır.

- X-ışınlarının dalga boyları 0,5 Å ile 2,5 Å civarındadır. Kristal yapıdaki atomlar ve moleküller arası mesafeler 1,5 Å - 4 Å civarındadır. Yani x-ışınlarının dalga boyları, katı maddedeki atomik mesafeler ölçüsündedir. Bundan dolayı, kristal yapılı katılar x-ışınlarına maruz kaldığında, yapıcı ve yıkıcı girişim gibi olgular gözlemlenebilmektedir.

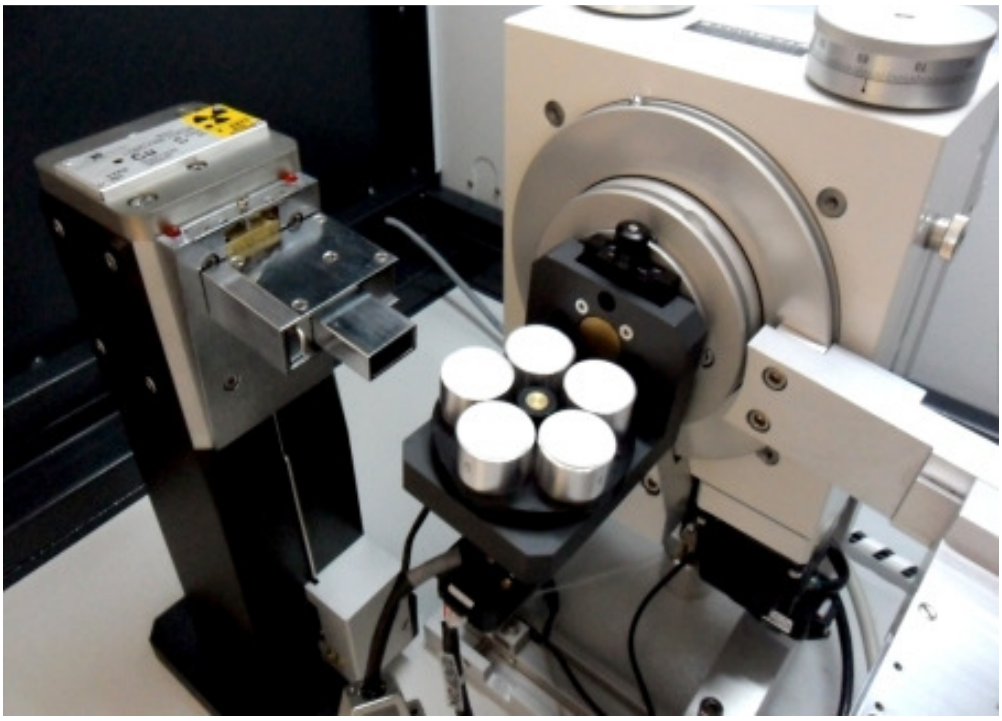
- X-ışını kırınım teknikleri, yıkıcı değildir ve incelenen numuneye hasar vermez.

Kristallerde x-ışını kırınımı ile elde edilen bilgiler şunlardır:

- Kristalin yapısı belirlenir.
- Kristalin mükemmelliği veya fazın saflığı belirlenir.
- Kristal doğrultuları belirlenir.
- Kristalin örgü sabitleri belirlenir.

Farklı kristal yapılar birbirinden farklı bir x-ışını kırınım deseni verir. Birim hücrenin biçimi ve boyutları (örgü parametreleri) kırınım çizgilerinin açısal konumlarını belirler. Birim hücre içindeki atomların konumları spektrum çizgilerinin bağıl şiddetlerini etkiler.

P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin yapısal özellikleri APD 2000 PRO (İtalya) x-ışını kırınımı (XRD) cihazıyla 40 kV'da Cu-K_α (1,5418 Å) ışınları kullanılarak analiz edilmiştir. XRD cihazının resmi Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. XRD Cihazı

3.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Örneklerin yüzey resimleri Nanomagnetics Instruments tarafından üretilen bir Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile alındı. Görüntüleme çalışmaları hava ortamında, tapping modda ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Görüntüler 512×512 piksel çözünürlükte P(VA)-BF film için 4×4 μm^2, P(EGDMA)-BF ve P(DVB)-BF filmler için 10×10 μm^2 boyutlarında bir alan üzerinden alındı.

AFM resimlerinin mikroskobik ölçekte üç tipik belirtkeni vardır. Bunlar R_a, R_q ve z parametreleridir. R_a, bir AFM yüzey görüntüsünün ortalama pürüzlülüğüdür ve

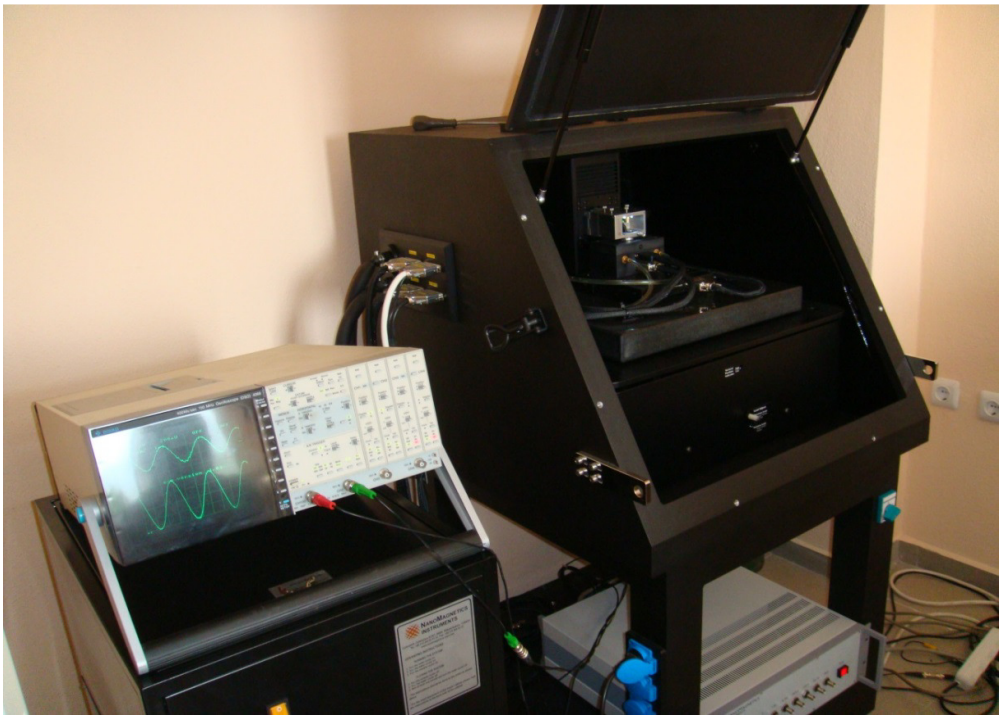
$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left| h_i - \bar{h} \right|}{N} \tag{3.1}$$

biçiminde tanımlanır. Burada h_i, i noktasındaki yüzey yüksekliğidir. $\bar{h}$ yüzey yükseklikleriniin ortalaması ve N, resimden veri alınan nokta sayısıdır. Yüzey topografisindeki değişimleri gözlemek için kullanılan en basit ve en yaygın metot, kök ortalama kare (RMS) pürüzlülük hesaplaması, R_q olarak adlandırılır. R_q değeri

$$R_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left| h_i - \bar{h} \right|^2}{N}} \tag{3.2}$$

olarak tanımlanır. Üçüncü parametre ise z ölçeğidir. Bu ölçek, resimdeki en düşük ve en yüksek nokta arasındaki düşey mesafedir (Tayşioğlu, 2010).

AFM sisteminin resmi Şekil 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.3. AFM Sistemi

3.4. Elektrik Özellikler

3.4.1. Akım-gerilim (I-V) ölçümleri

Yarıiletken numunelerin I-V ölçümleri oda sıcaklığında KEITHLEY 6517A Elektrometre (Keithley Instruments Ohio, ABD) cihazı kullanılarak alınmıştır.

I-V karakteristiği;

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{\beta kT} \right) - 1 \right] \tag{3.3}$$

ile verilen ısısal yayılım eşitliği kullanılarak incelenmektedir (Sze 1981). Eşitlikte üstel kısım birden çok büyük olduğundan biri ihmal etmek sonucu değiştirmez. Böylece akım;

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{\beta kT} \right) \right] \tag{3.4}$$

eşitliğindeki gibi olur. Bu eşitlikten β idealite faktörü;

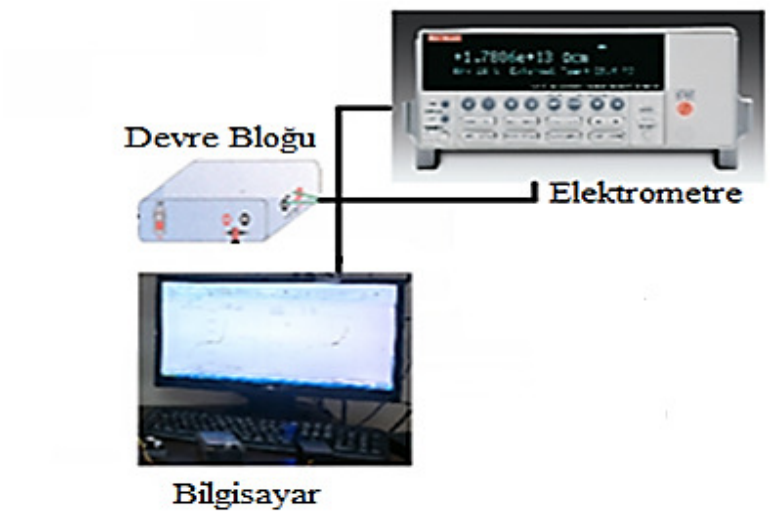
$$\beta = \frac{q}{kT} \times \frac{V}{\ln(I / I_s)} \tag{3.5}$$

şeklinde yazılabilir. β ideal faktörün hesaplanabilmesi için ln(I)'nın V'ye göre grafiğinden elde edilen eğrinin doğrusal bölgesinin eğimi kullanılabilir. $Ln(I_s)$ sabit olduğundan ln(I)-V eğrisinin eğimi $ln(I/I_s)$-V eğrisinin eğimine eşittir. Böylece;

$$\beta = \frac{q}{kT} \times \frac{1}{eğim} \tag{3.6}$$

eşitliğinden ideal faktör hesaplanabilir (Kucur 2011).

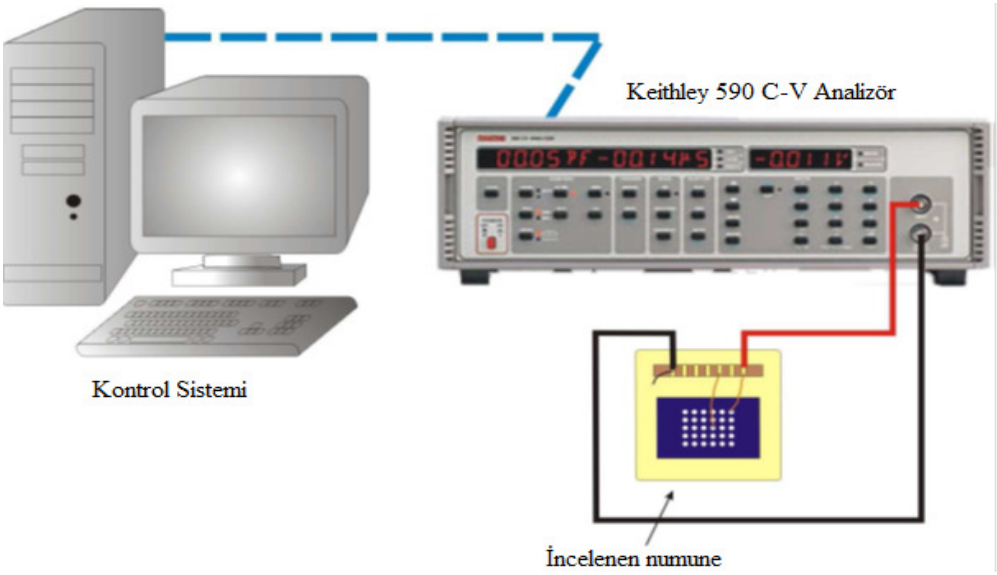
I-V ölçüm sistemi şematik olarak Şekil 3.4'de verilmektedir.



Şekil 3.4. I-V ölçüm sistemi şeması (Kucur 2011)

3.4.2. Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri

Yarıiletken numunelerin C-V ölçümleri oda sıcaklığında KEITHLEY 590/1M C-V Analizör kullanılarak alınmıştır. Kapasitans-gerilim ölçümlerinin alınması için kurulan deney düzeneği Şekil 3.5'de görüldüğü gibi bağlanmıştır.



Şekil 3.5. C-V ölçümlerinde kullanılan deney düzeneği şeması (Hacıismailoğlu 2005)

3.5. Manyetik Özellikler

3.5.1. Titreşimli örnek manyetometresi

Bir malzemenin manyetik karakterini ortaya koyan histeresis eğrisi deneysel olarak titreşimli örnek manyetometresi (VSM) ile elde edilmektedir.

VSM sistemi, güç kaynağı, kontrol panelleri gibi elektronik kısımlar ile örnek titreştirici, elektro mıknatıs ve bunlara bağlanmış bir bilgisayardan oluşur. Şekil 3.4'de bir VSM sistemi görülmektedir.



Şekil 3.6. VSM Sistemi (Çöktüren 2008)

VSM'nin çalışma prensibi elektromanyetik indüksiyon yasasına dayanır. Faraday indüksiyon kanununa göre bir kapalı devreden geçen manyetik akının değişimi, devrede indüklenen bir elektro motor kuvveti (emk) oluşturur. İndüksiyon yasası emk'nin büyüklüğünün, bobin içindeki manyetik akının zamanla değişim hızı ile orantılı olduğunu ifade eder. Bobinde indüklenen emk,

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \tag{3.7}$$

ile verilir. Burada ϕ manyetik akı, N manyetik akının geçtiği bobinin sarım sayısı, ε elekro motor kuvvetidir. Manyetik akı yoğunluğu;

$$B = \frac{\phi}{A} \tag{3.8}$$

ifadesi denklem 3.7.'de kullanılarak indüklenen emk yeniden yazılırsa;

$$\varepsilon = -NA\frac{dB}{dt} \tag{3.9}$$

elde edilir. B manyetik indüksiyon, A manyetik indüksiyonun incelendiği alandır. Boş uzayda;

$$B = \mu_0 H \tag{3.10}$$

ifadesiyle birlikte indüklenen emk için;

$$\varepsilon = -\mu_0 NA\frac{dH}{dt} \tag{3.11}$$

eşitliği elde edilir (Serway ve Beichner 2007, Çöktüren 2008).

İndüksiyon emk'nin oluşabilmesi için manyetik akının zamanla değişiyor olması gerekir. Bunun bir yolu zamanla değişen manyetik alan uygulamak, diğer bir yolu da manyetik alana konan örneği titreştirmektir. VSM'nin çalışması, manyetik alanda titreşen örnekle manyetik akı değişimi oluşturulması ve bu manyetik akı değişimi sonucu oluşan indüksiyon emk'nin ölçülmesine dayanır (Jiles 1991). İndüklenen emk titreşen örneğin mıknatıslanması ile orantılı olduğundan bu yöntemle örneğin mıknatıslanmasını ölçmek mümkündür.

VSM yöntemi ile mıknatıslanmanın doğrudan ölçümü yapılır. Algılayıcı bobinler arasındaki boşluğa yerleştirilen örnek alan yönüne dik olarak titreştirilir. Algılayıcı bobinlerde indüklenen voltaj referans bobinler ile karşılaştırılır. Bu ölçüm sonucu elde edilen veriler uygulanan manyetik alana göre mıknatıslanmanın nasıl değiştiğini vermekle sınırlıdır. Elde edilen verilerin keyfi değerler olmaktan çıkması için VSM bir standarda göre kalibre edilmelidir. Kalibrasyon için örnek ile aynı şekil ve boyutlardaki nikel (Ni) standart kullanılır. Nikel örneğin iyi bilinen doyum mıknatıslanması değeri

kullanılarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. İncelenen örnek ile algılayıcı bobinler arasında yeterli boşluk bulunduğundan isteğe göre sisteme soğutucu veya ısıtıcı aygıtlar da eklenebilir. İstenen değerler arasında istenen aralıklarla uygulanan manyetik alana karşı ölçülen mıknatıslanma değerleriyle örneğin histeresis eğrisi elde edilir (Hubert ve Schäfer 2000, Çöktüren 2008).

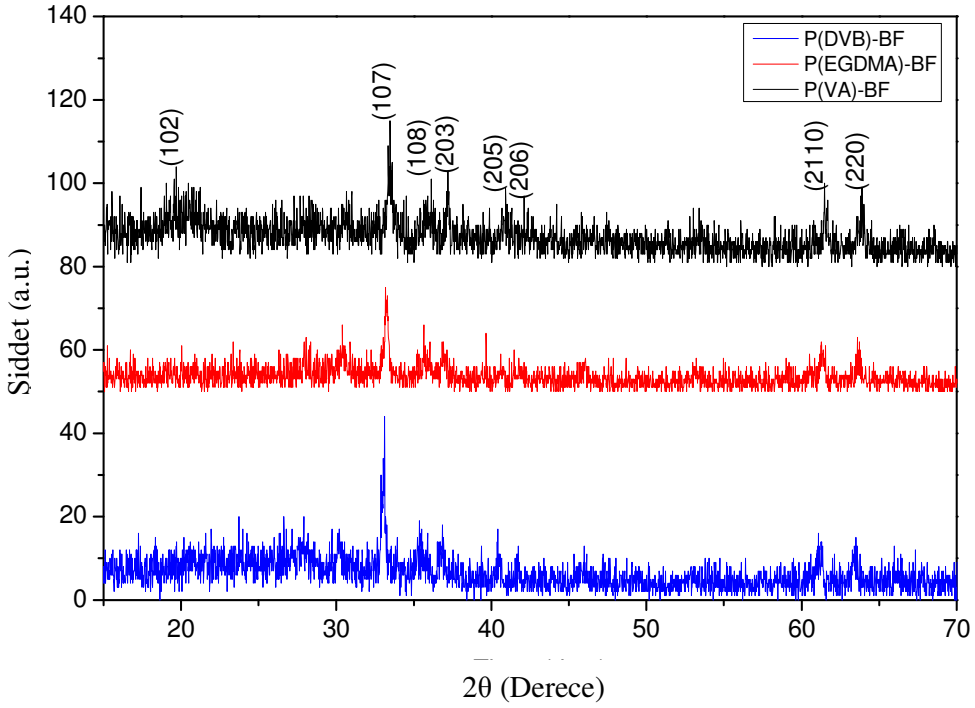
3.5.2. Manyetik kuvvet mikroskobu

Multimod Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) (Nanomagnetics Int., Türkiye) kullanılarak topografik ve manyetik kuvvet mikroskobu (MFM) resimleri elde edilmiştir. MFM ucu alüminyum ile kaplıdır. Tip yükseklikleri 10, 15, 20 nm ve tipin rezonans frekansı 75 kHz'dir.

Örnek yüzeyinde seçilen bir bölge ilk önce tapping modda taranarak topografik görüntü elde edildi. Ardından AFM ucu bir miktar kaldırılarak MFM modunda aynı bölge tekrar taranmasıyla örneklerin domain yapılarının resimleri elde edilerek domain yönelimleri gözlemlenmeye çalışıldı.

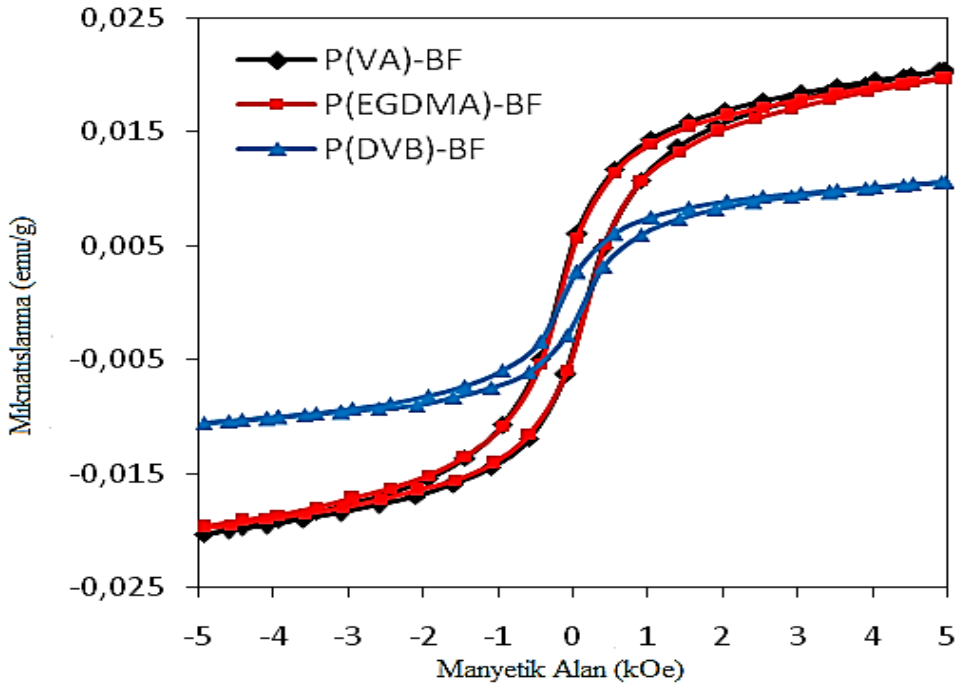
4. BULGULAR

Cam altlık üzerine yüzey polimerizasyonu tekniği ile hazırlanan P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin 40 kV'de Cu-K_α (1,5418 Å) ışınları kullanılarak elde edilen x-ışını kırınım (XRD) desenleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin XRD desenleri

Kırınım açısı 2θ, 15º ile 70º arasında değişmektedir. Hegzagonal yapıdaki kırınım düzlemleri (102), (107), (108), (203), (205), (206), (2110) ve (220) olarak belirlenmiştir. XRD desenleri polimer filmlerin çok küçük kristal boyutlarına sahip olduklarını göstermektedir. Şekil 4.1'den görülebileceği gibi, P(VA)-BF film 18,92º de diğer polimer filmlerden farklı bir kırınım piki vermektedir.



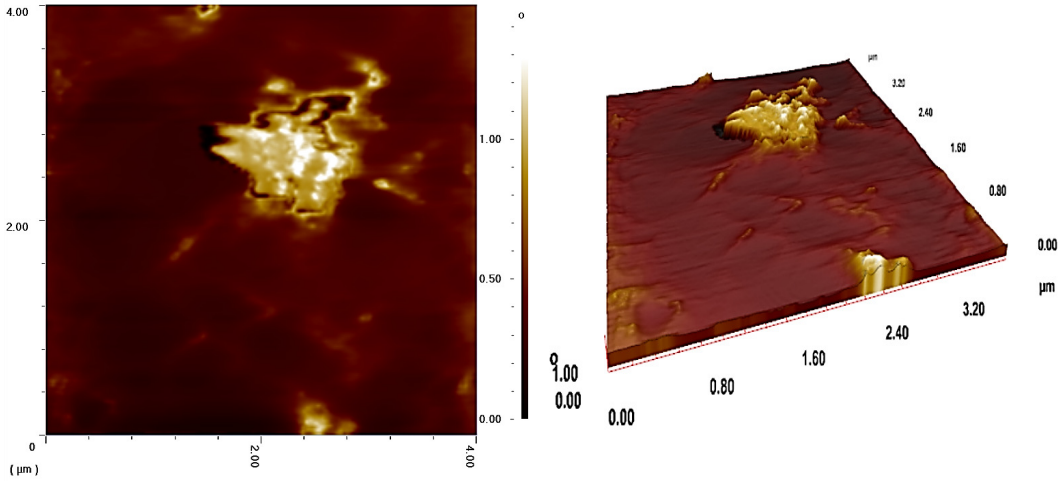
Şekil 4.2. P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin histeresis eğrileri

Polimer filmlerin VSM ile elde edilen manyetik histeresis eğrileri (M-H) Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'den görülebileceği gibi doyum mıknatıslanması değeri 0,011'den 0,020 emu/g ve sıfırlayıcı alan 141'den 197 Oe'e artmaktadır. En yüksek doyum mıknatıslanması ve sıfırlayıcı alan P(VA)-BF filmlerden elde edilmiştir. Bu sonuçlar polivinil alkolün manyetik özellikler üzerinde belirgin bir rolü olduğunu göstermektedir. Polimer yapıların manyetik parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

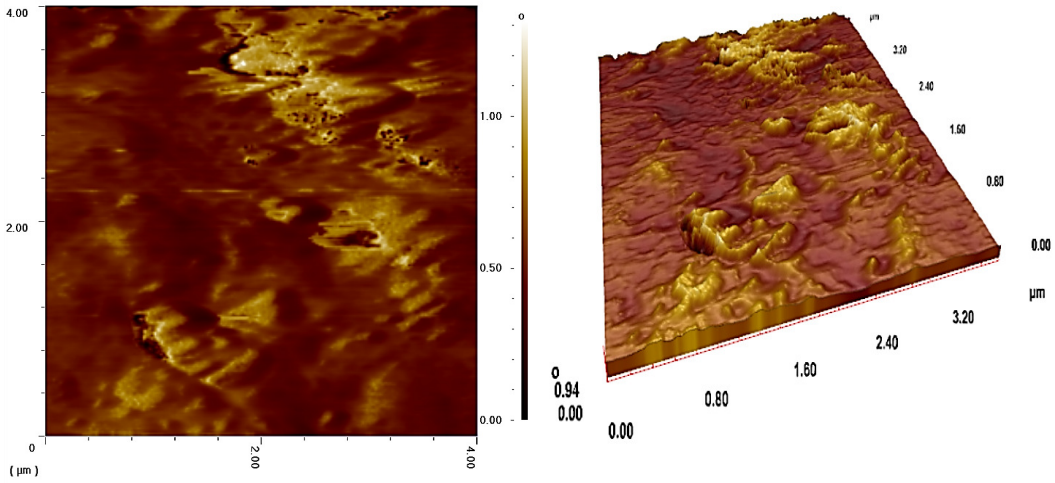
Çizelge 4.1. P(VA)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(DVB)-BF filmlerin manyetik parametreleri

	P(VA)-BF	**P(EGDMA)-BF**	**P(DVB)-BF**
Ms(emu/g)	0,0204	0,0197	0,0106
Mr(emu/g)	0,0045	0,0043	0,0019
Hc(Oe)	197	187	141

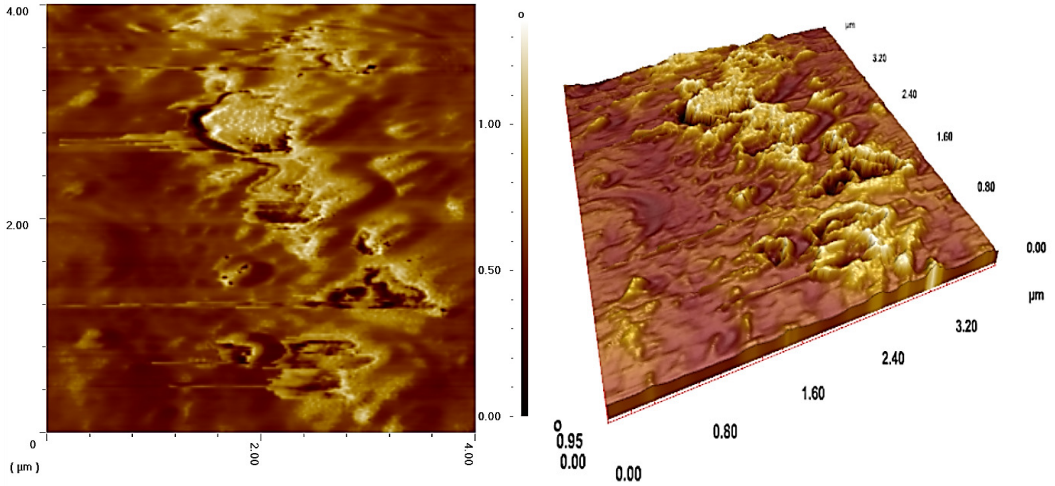
Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 BF nano parçacıkları içeren polimer filmlerin AFM ve MFM resimlerini göstermektedir. AFM analizinde polimer filmlerin yüzeyi önce tapping modta taranarak topografi resimleri elde edilir. Sonra uç bir miktar geri çekilir ve aynı bölgeyi MFM modunda tekrar tarar. MFM resimlerindeki bulanıklaşma malzemenin manyetik özellik gösterdiğini, parlak ve koyu bölgelerde mıknatıslanma yönünü temsil etmektedir. P(VA)-BF filmin AFM ve MFM resimleri Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de sırasıyla 10, 15 ve 20 nm tip yükseklikleri için verilmiştir.



Şekil 4.3. P(VA)-BF filmin 10 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri

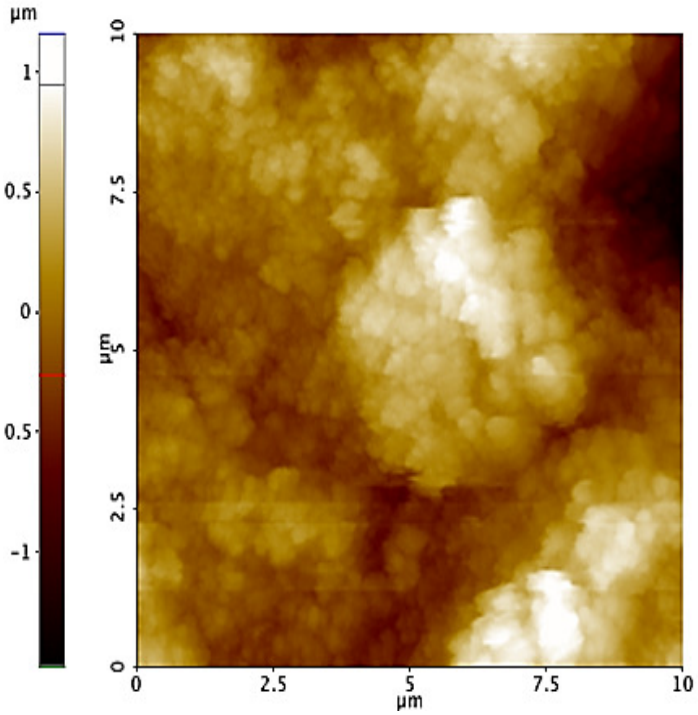


Şekil 4.4. P(VA)-BF filmin 15 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri

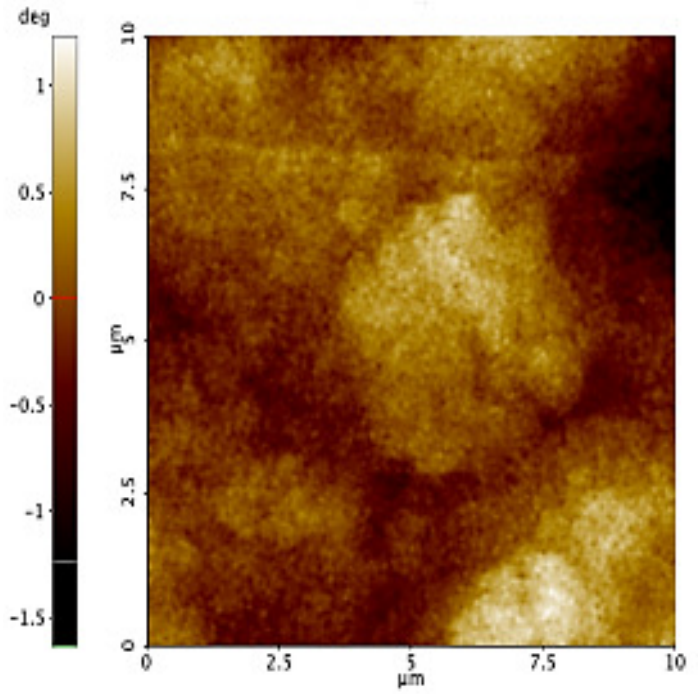


Şekil 4.5. P(VA)-BF filmin 20 nm tip yüksekliğindeki AFM (2 boyutlu sol), MFM (3 boyutlu sağ) resimleri

Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'den görülebileceği gibi P(VA)-BF filmin MFM resimlerindeki manyetik yönelimler sırasıyla 1,00º, 0,96º ve 0,95º olarak tespit edilmiştir.

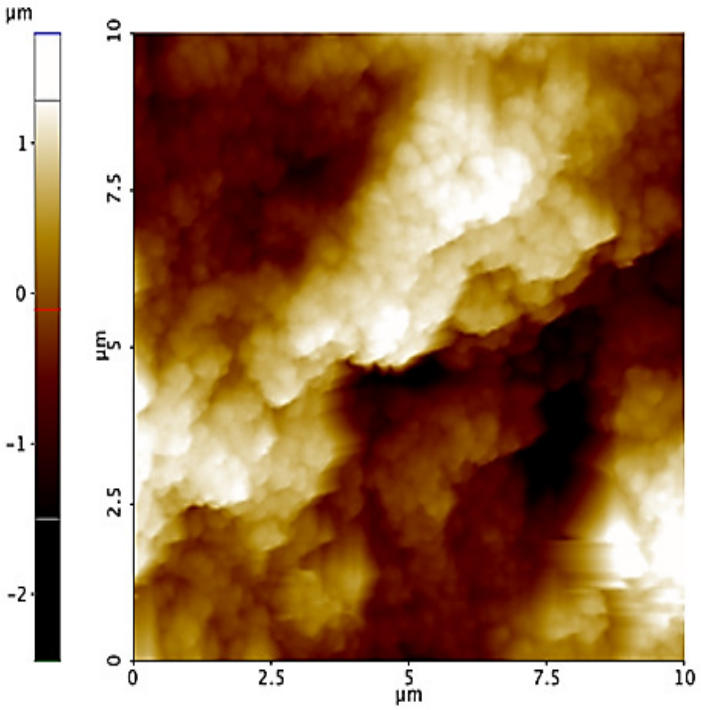


(a)

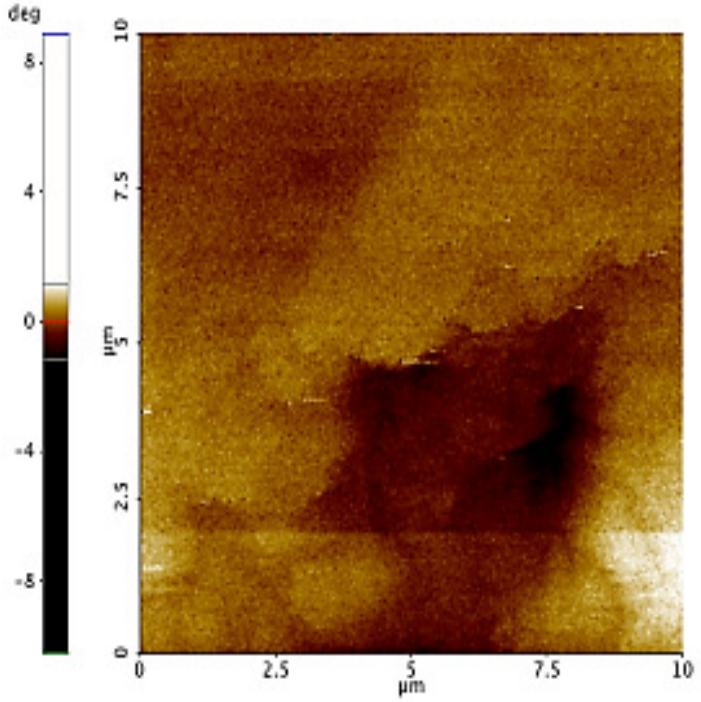


(b)

Şekil 4.6. P(EGDMA)-BF filmin AFM ve MFM resimleri a) topografik ve b) MFM resimleri



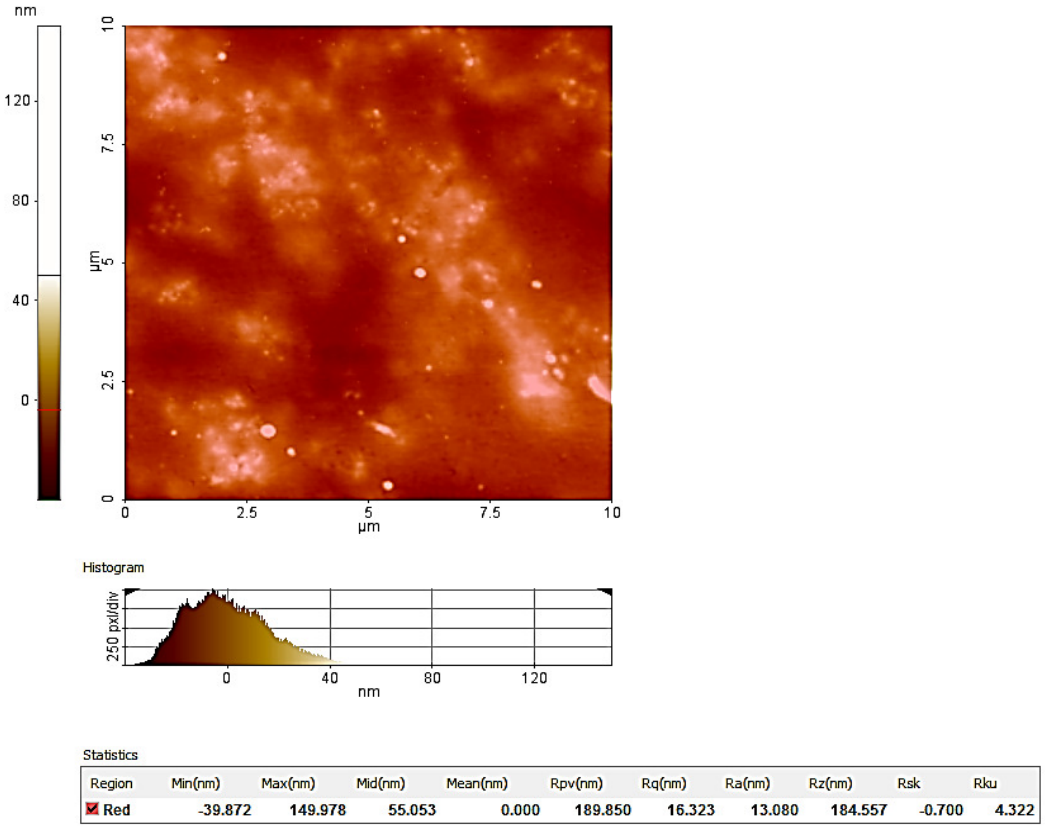
(a)



(b)

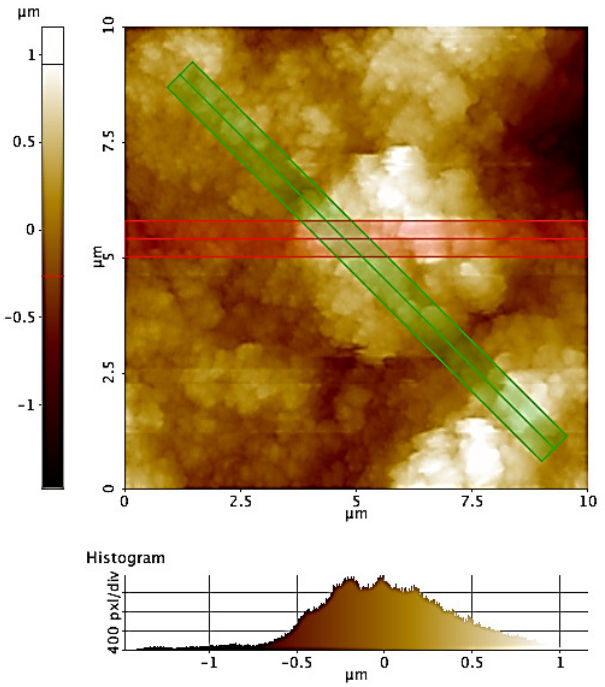
Şekil 4.7. P(DVB)-BF filmin AFM ve MFM resimleri a) topografik ve b) MFM resimleri

P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF ve P(VA)-BF filmlerin yüzey pürüzlülüğü analizleri Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü gösteren R_q değeri denklem 3.2 kullanılarak AFM sistemi yardımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.8. P(VA)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi

Şekil 4.8'e göre BF nano parçacıkları P(VA) matrisi içinde oldukça düzgün bir dağılım göstermektedir. Topaklaşmalar oldukça küçük ve belirgin değildir. Bu nedenle de en düşük yüzey pürüzlülüğü VA polimerinden elde edilmiştir.

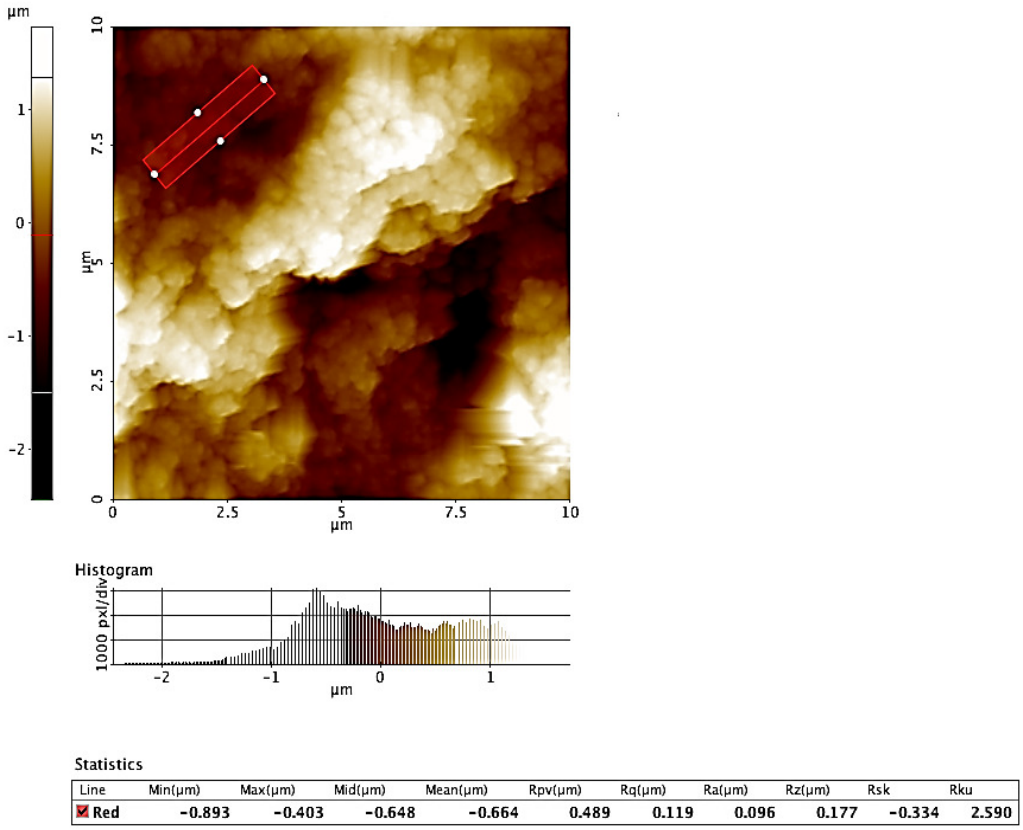


Statistics

Line	Min(µm)	Max(µm)	Mid(µm)	Mean(µm)	Rpv(µm)	Rq(µm)	Ra(µm)	Rz(µm)	Rsk	Rku
Red	-0.540	0.763	0.112	0.050	1.302	0.408	0.380	1.160	-0.288	1.467
Green	-0.278	0.747	0.234	0.233	1.025	0.240	0.195	0.776	-0.106	2.282

Şekil 4.9. P(EGDMA)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi

Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi BF nano parçacıkları P(EGDMA) ve P(DVB) matrisleri içinde topaklaşmalar yapmıştır. Düzgün bir dağılım yoktur. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü değerleri yüksektir.



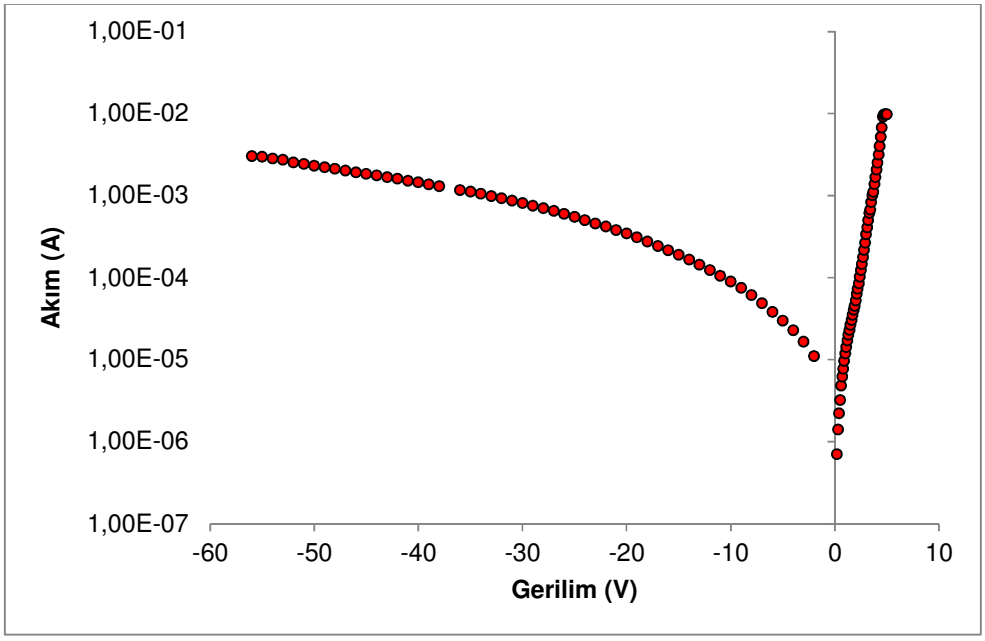
Şekil 4.10. P(DVB)-BF filmin yüzey pürüzlülüğü analizi

P(VA)-BF, P(EGDMA)-BF, P(DVB)-BF filmlerin yüzey pürüzlülükleri ($R_{q)}$ Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük yüzey pürüzlülüğü P(VA)-BF filmden elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. P(VA)-BF, P(EGDMA)-BF ve P(DVB)-BF filmlerin yüzey pürüzlülükleri

	Boyut (nm)	Yüzey Pürüzlülüğü(R_q-nm)
P(VA)-BF	50	16
P(EGDMA)-BF	50	240
P(DVB)-BF	50	119

Şekil 4.11'de n-tipi Silisyum üzerine hazırlanan tek duvarlı karbon nano tüp (SWCNT) katkılı örneğin oda sıcaklığındaki akım-gerilim grafiği verilmiştir. Grafikten denklem 3.5 kullanılarak hesaplanan idealite faktörü (β) 5,7 olarak elde edilmiştir.

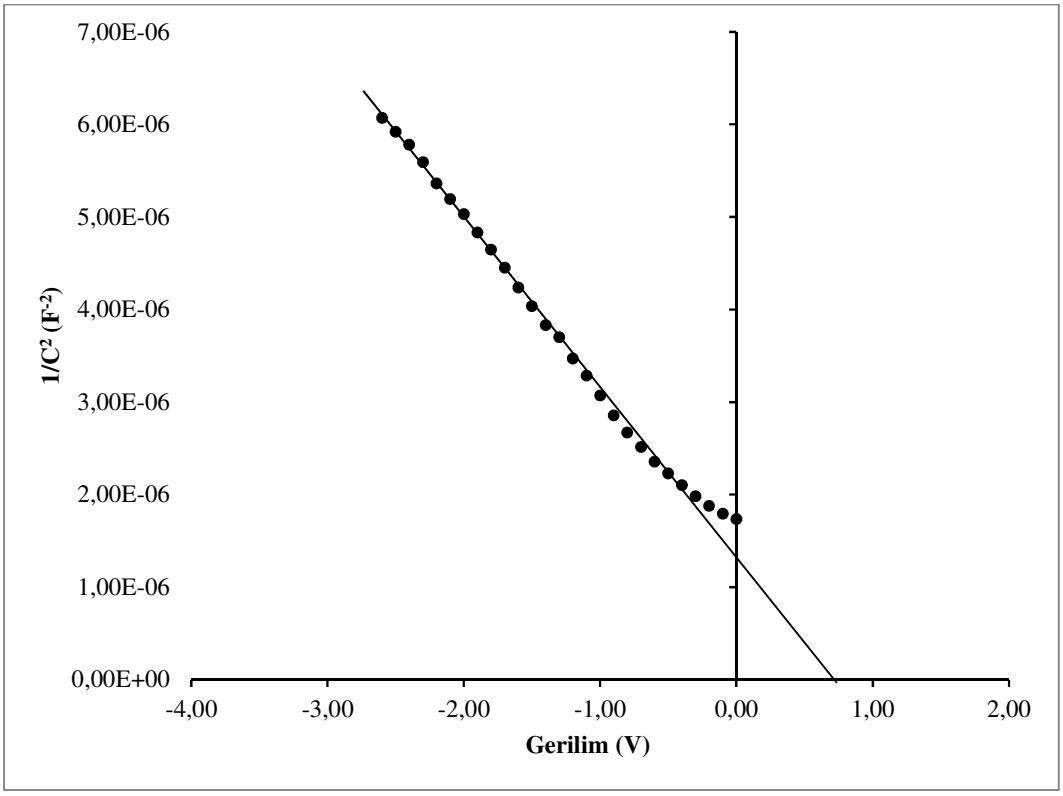


Şekil 4.11. n-Si/EGDMA/SWCNT numunesinin oda sıcaklığındaki ileri yön ve ters yön akım-gerilim karakteristiği

Ortalama engel yüksekliği akım-gerilim grafiğinden yararlanarak 0,68±0,02 eV olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$\Phi_{b0} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{AA_R T^2}{I_s}\right) \tag{4.1}$$

Burada Φ_{b0} ortalama engel yüksekliği, k Boltzmann sabiti, e elektronun yükü, T oda sıcaklığı (300 K), A alan (0,5 cm^2), A_R n-Si için Richardson sabiti (110 A/cm^2K^2), I_s (10^{-5} A) doyum akımıdır.



Şekil 4.12. n-Si/EGDMA/SWCNT numunesinin oda sıcaklığındaki $1/C^2$-V grafiği

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen kapasitans-gerilim ölçümlerinden de n-Si/EGDMA/SWCNT örneğinin engel yüksekliği 0,75±0,02 eV olarak hesaplanmıştır. Akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümlerinden elde edilen engel yüksekliğinin birbirinden farklı olması ara yüzey etkisini göstermektedir. Benzer etkiler Ahmetoğlu ve ark. (2011) tarafından da tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada üç farklı polimer ve aynı oranda BF nano parçacıklar kullanılarak polimer filmler sentezlenmiştir. Üretilen polimer filmlerin yapısal özellikleri XRD ve AFM teknikleri kullanılarak incelenmiştir. XRD analiz sonuçları polimer filmlerin çok küçük kristal boyutlarına sahip olduklarını göstermiştir. Kırınım desenleri (102), (107), (108), (203), (205), (206), ve (220) olarak elde edilmiştir. (102), (107), (108), (203), (205), (220) kırınım düzlemleri hegzagonal kristal yapıya sahip $BaFe_{12}O_{19}$ 'in varlığını doğrulamaktadır (Xu ve ark. 2007, Durmuş ve ark. 2012). (102) kırınım deseni P(VA)-BF örneğinde elde edilmiştir. Diğer iki örnekte bu düzlemden herhangi bir yansıma tespit edilememiştir. Polimerik filmlerin yüzey pürüzlülük ölçümlerinde P(VA)-BF filmlerin diğer polimer filmlere göre daha homojen dağılımlı ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Diğer örneklerdeki yüksek pürüzlülük değerleri polimerik film içerisinde oluşan topaklaşmalardan ileri geldiği düşünülmektedir.

Polimer filmlerin elektrik özelliklerini gözlemek için üretilen filmlerde akım-gerilim ve kapasitans-gerilim grafikleri elde edilerek engel yüksekliği ve idealite faktörü hesaplanmıştır. Ara yüzey etkisi ve yüzeyin tamamen temizlenememesi gibi istenmeyen durumlara rağmen değerler birbirlerine yakın çıkmıştır. Bu tür yapılar üzerinde daha fazla çalışılarak istenilen sonuçların elde edileceği düşünülmektedir.

Polimer filmlerin manyetik özellikleri VSM ve MFM teknikleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek doyum mıknatıslanması P(VA)-BF filmden elde edilmiştir. Her üç örneğinde histeresis eğrilerine göre filmlerin ferromanyetik malzeme özelliği gösterdikleri belirlenmiştir. Polimer filmlerin domain yapılarını ve manyetik yönelimlerini gözlemek için MFM tekniği kullanılmıştır. Elde edilen MFM resimlerine göre, açık ve koyu bölgeler manyetik domainleri göstermektedir. P(VA)-BF filmin manyetik domain yapıları ince şerit gibi ve polimer filmin yüzeyine dik olacak şekilde yöneldiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Ahmetoglu (Afrailov), M.A., Kara, A., Tekin, N., Beyaz, S., Köçkar, H. 2011. Electrical properties of Poly(ethylene glycol dimethacrylate-n-vinyl imidazole)/Single Walled Carbon Nanotubes/n-Si Schottky diodes formed by surface polymerization of Single Walled Carbon Nanotubes. *Thin Solid Films*, 520(6):2106-2109.

Akay, S.K. 2005. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çift fazlı çeliklerin fiziksel özelliklerinin araştırılması. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Anonim, 2013. CSID:10726, http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.10726.html-(Erişim tarihi: 20.06.2013).

Anonim, 2013. CSID:60033, http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.60033.html-(Erişim tarihi: 20.06.2013).

Anonim, 2013. CSID:7077, http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7077.html-(Erişim tarihi: 20.06.2013).

Anonim, 2013. Paramagnetism. http://physics.tutorvista.com/electricity-and-magnetism/paramagnetism.html-(Erişim tarihi: 09.10.2013).

Baysal, B. 1994. Polimer kimyası. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 442 s.

Beşergil, B. 2003. Polimer kimyası. Gazi Kitabevi, Ankara, 470 s.

Chikazumi, S. 1986. Physics of Magnetism. Robert E. Krieger Publishing Co., Florida, 554 pp.

Çöktüren, E. 2008. Ferromanyetik filmlerde oluşan yüzey manyetik anizotropisinin numerik çözümlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Edirne.

Demirbel, E. 2011. Manyetik poli(divinil benzen-n-vinil imidazol) [m-poli(DVB-VIM)] mikroküre lerinin sentezi, karakterizasyonu ve sulu çözeltilerden ağır metal iyonları adsorpsiyonunun fizikokimyasal parametrelerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Bursa.

Durmus, Z., Baykal, A., Sozeri, H., Toprak, M.S. 2012. Preparation of PVP (Polyvinyl Pyrrolidone)/Ba-Sr Hexaferrites via Gel to Crystalline Method. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 42(10): 1390-1397.

Hacıismailoğlu, M.C. 2005. Metal-oksit-yarıiletken (MOS) kapasitörlerin elektriksel özelliklerinin oksit tabakası kalınlığına bağlı değişimlerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Hubert, A., Schäfer, R. 2000. Magnetic Domains The Analysis of Magnetic Microstructures. Springer, Germany, 696 pp.

Jiles, D. 1991. Introduction to magnetism and magnetic materials. Chapman&Hall, London, 440 s.

Kaewrawang, A., Ghasemi, A., Liu, X., Morisako, A. 2010. Under layer dependence of microtexture, microstructure and magnetic properties of c-axis oriented strontium ferrite thin films. *Thin Solid Films*, 518(23): 7059-7063.

Kara, A. 2004. Çapraz bağlı polimerlerin sentezi ve iyon seçimliliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Bursa.

Kucur, B. 2011. GaSb yarıiletken temelindeki infrared fotodiyotların karanlık akımlarının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Küçük, İ. 1998. Ferromanyetik amorf şeritlerin incelenmesi ve uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Küçük, İ. 2003. Çalışma frekansına ve geometrik yapıya bağlı olarak toroid çekirdeklerin manyetik özelliklerinin deneysel ve kuramsal incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Li, L., Chen, K., Liu, H., Tong, G., Qian, H., Hao, B. 2013. Attractive microwave-absorbing properties of M-BaFe12O19 ferrite. *Journal of Alloys and Compounds*, 557: 11-17.

Lisjak, D., Ovtar, S. 2012. The Alignment of Barium Ferrite Nanoparticles from Their Suspensions in Electric and Magnetic Fields. *J. Phys. Chem. B*, 117(6): 1644-1650.

Masoudpanah, S.M., Seyyed Ebrahimi, S.A. 2012. Synthesis and characterization of nanostructured strontium hexaferrite thin films by the sol–gel method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324(14): 2239-2244.

Mohallem, N.D.S., Seara, L.M., Novak, M.A., Sinnecker, E.H.C.P. 2006. Magnetic Nanocomposite Thin Films Prepared by Sol-Gel Process. *Brazilian Journal of Physics*, 36(3B): 1078-1080.

Murthy, K.J., Mitra, C., Ram, S., Venimadhav, A. 2012. Temperature dependent magnetic and dielectric properties of M-type hexagonal BaFe12O19 nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 545: 225-230.

Pierret, R.F. 1996. Semiconductor device fundamentals. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA, 791 pp.

Pillai, V., Kumar, P., Shah, D.O. 1992. Magnetic properties of barium ferrite synthesized using a microemulsion mediated process. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 116(3): 299-304.

Pramanik, A.K., Jana, M.S., Kundu, S., Mondal, T.K. 2012. Re(I) carbonyl complexes of N-[(2-pyridyl)methyliden]-α (or β)-aminonaphthalene: Synthesis, structure, electrochemistry and DFT analysis. *Journal of Molecular Structure*, 1117: 19-25.

Serway, R.A., Beichner, R.J. 2007. Fen ve mühendislik için fizik 2. Palme Yayıncılık, Ankara, 1243 s.

Sze, S.M. 1981. Physics of Semiconductor Devices 2nd Edition. John Wiley&Sons, Inc.,Singapore, 868pp.

Sze, S.M. 2002. Semiconductor Devices, Physics and Technology 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc., USA, 564 pp.

Tayşioğlu, A.A. 2010. Amorf şeritlerin geometrik ve anizotropik özelliklerine bağlı çok büyük manyetik empedans etkisinin ve yapısının incelenmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Wilson, J., Hawkes, J.F.B. 2000. Optoelektronik. Değişim Yayınları, Adapazarı, 518 s.

Xu, P., Han, X., Wang, M. 2007. Synthesis and Magnetic Properties of BaFe12O19 Hexaferrite Nanoparticles by a Reverse Microemulsion Technique. *J. Phys. Chem. C*, 111(16): 5866-5870.

Yu, H.F., Liu, P.C. 2006. Effects of pH and calcination temperatures on the formation of citrate-derived hexagonal barium ferrite particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 416: 222-227.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Şenol GÜNEŞ
Doğum Yeri ve Tarihi	: E.CUMA–07/01/1982
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu	
Lise	: Nilüfer Anadolu Ticaret Meslek Lisesi–2001
Lisans	: Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü–2009
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	:
İletişim (e-posta)	: senolgunes19@gmail.com
Yayınları	:

Güneş, Ş., Akay, S.K., Kara, A. 2012. Fe_3O_4 Nano Toz Katkılı Polimer Filmlerin Bazı Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. Türk Fizik Derneği 29. Uluslar Arası Fizik Konferansı, 05-08 Eylül 2012, Bodrum, Türkiye. (Poster)

Güneş, Ş., Akay, S.K., Kara, A. 2013. Magnetic Properties of Poly (Divinylbenzene, Ethylene Glycol Dimethacrylate and Vinyl Alcohol)/Barium Ferrite Nanoparticles. The 3rd International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress, 24-28 April 2013, Antalya, Turkey. (Poster)