

MANYETO-OPTİK UYGULAMALAR İÇİN GARNET ÜRETİMİ

Yavuz ÖZTÜRK^{1*}

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Eelktronik Mühendisliği Bölümü, 35100 İzmir,
TÜRKİYE

Özet Bu raporda manyetik ve optik uygulamalarda önemli bir yere sahip Garnet yapılar üzerinde durulacaktır. Bu garnetlerden özellikle saf ve katkılı YIG ($Y_3Fe_5O_{12}$ -Yttrium Iron Garnet) üzerinde durulacaktır. Garnet malzemelerin üretim yöntemleri, kullanım alanları ve karakterizasyon yöntemleri (parametreleri) açıklanacaktır. Güncel üretim yöntemleri arasında yer alan ve yüksek saflıkta malzeme üretimini sağlayan sol-jel yöntemi ile diğer üretim yöntemleri karşılaştırılacak bu yöntem ayrıntıları ile anlatılacaktır. Literatürde yapılan son çalışmalar ve yeniliklere yer verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Garnet, YIG, Sol-jel

GARNET PRODUCTION FOR MAGNETO-OPTICAL APPLICATIONS

Abstract: In this report garnet structures that have important areas in optical and magnetic applications are emphasized. Especially pure and substrated YIG are more mentioned. Preparation methods, application areas, characterization methods of garnet materials will be discussed. A preferred sol-gel method that provides production of high purity materials in atomic dimensions will be explained by comparing with other methods. The latest studies and innovations in literature about garnets will be explained in conclusion part.

Keywords: Garnet, YIG, Sol-gel

1 GİRİŞ

Nadir toprak elementleri katkılı YIG (İtriyum-Demir-Garnet, $Y_3Fe_5O_{12}$) tipi garnetler, manyetizma ve optiğin birleşebildiği kavşaktadır. Şimdiye kadar üzerinde yapılan geniş incelmeler ile YIG garnetler arasında en fazla bilinenidir. YIG kendine özgü manyetik manyeto-optik, termal, elektriksel ve mekaniksel özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı mikro optik araçlar, yeni tip elektronik yongalar, çok katmanlı seramik mikrodalga cihazları, mikrodalga haberleşme cihazları, manyeto-optik kayıt sistemleri, optik yalıtkanlar, yüksek hızlı manyeto-optik modülasyon cihazları, manyeto-optik görüntüleme gibi uygulamalar için güncelliğini korumaktadır [1-5]. Fakat bu tip uygulamaların geliştirilmesinde YIG manyetik ve manyeto-optik özellikleri yeterli olmamaktadır. YIG yapısı Bi ve Ce basta olmak üzere nadir dünya elementleri ile katkılandırılarak manyetik ve optik özelliklerin geliştirilmektedir [6-9]. Vakum dışı teknikler vakum tekniklerine göre pahalı cihazlara gerek duymama özellikleri ile ticari uygulamalarda avantaja sahiptir. Sol-jel tekniği; yüksek homojenlikte, nano boyutlarda kaliteli film ve parçacık üretimini mümkün kıldığı için, yüksek saflıkta dopant malzemelerin katılabilmesi ve ekonomik olması gibi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir.

1.1 Uygulama Alanları

Garnetlerin sahip oldukları yüksek faraday etkileri ve görünür bölgedeki saydamlıkları ile birçok manyeto-optik uygulama alanında kullanılmakta ve yeni uygulama alanları bulmak için araştırmalar devam etmektedir. Garnetlerin aynı zamanda mikrodalga uygulamalarında kullanılan önemli malzemeler arasında yer almaktadır. Mikrodalga alanında YIG rezonatörler ve YIG filtreler kullanılmaktadır. YIG'ler 1-10 GHz bandında

kullanılabilecek en iyi mikrodalga elemanıdır [4,10].

Manyeto-optik uygulamaları olarak manyetik alan ve manyetik alanı ölçümü kullanılarak elde edilebilecek akım sensörleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [5]. Gelecek vaat eden önemli uygulama alanlarından biri ise manyeto-optik kayıt sistemleridir. Ayrıca optik sistemlerde faraday döndürücü olarak kullanılmaktadır. Dijital radyolar için sentisayzır (synthesizer), bilgi iletim hatlarına entegre edilmiş optik modulatorler, optik izolator, yayıcılar (circulator) ve dielektrik dalga kılavuzlarında kullanılması düşünülmektedir. Son zamanlarda termal olmayan optik yöntemlerle manyetik özelliklerinin değiştirilebileceği bulunmuştur [5]. Bu bulgular garnetlerin ultra hızlı anahtarlama ve manyetik kayıt ortamları için kullanışlı olabileceklerini göstermiştir [11].

1.2 YIG Kafes Yapısı Ve Manyetik Özellikleri

YIG ($Y_3Fe_5O_{12}$ -İtriyum Demir Garnet) garnetleri ferrimanyetik yapıdadır, çok iyi mikrodalga ve manyeto optik özellikler göstermektedir. YIG 3 tane alt kafese (sublatice) sahiptir. 2 tanesi demir iyonları 1 tanesi ise itriyum iyonları tarafından işgal edilmiştir. YIG'in manyetik özelliği, kafes yapısında oktohedral ve tetrahedral sitelerdeki manyetik demir iyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu manyetik momentler ters yönde olup net manyetik momentleri sıfırdan farklıdır. Bir alt kafes %60 demir iyonu içerirken diğer kafes %40 içerdiğinden dolayı net manyetizasyon oluşur. YIG yapısındaki itriyum iyonları diyamanyetik özellik gösterir ve manyetik özelliklere etkileri azdır [12].

YIG küri (curie) sıcaklığı 282 °C ve YIG tozları için T_c küri sıcaklığı 550 K olarak tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında sahip olduğu diğer özellikler ise manyetokristal anizotropi sabiti (K_1) $-600J/m^3$ 'dir. Ferrimanyetik YIG manyeto-optik özellikleri ilk olarak 1959 yılında bulunmuştur. 2.5 eV seviyesinde

kuvvetli optik soğrulma (absorption) ve faraday dönmesi gözlenmiş [13]. YIG faraday dönmesi 1300 nm dalga boyu için 220 derece/cm 'dir.

1.3 Teorik Bilgi

Manyeto-optik faraday etkisi Maxwell denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Ancak ışık madde etkileşimine yüzeysel bir bakış açısı getirmektedir. Bu hesaplamalarda malzemenin manyetik alana bağlı durumunu içeren dielektrik ϵ tensörü kullanılmaktadır.

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & 0 \\ -\epsilon_{xy} & \epsilon_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{xx} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Manyeto-optik etkilerin oluşması için dielektrik tensöründe dik olmayan elemanların sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Dielektrik tensörün manyetizasyona (M) bağlılığı:

$$\epsilon_{xy} = \epsilon_0 + \Delta\epsilon(M) \quad (2)$$

$$\Delta\epsilon(M)_{ij} = \sum_{k=1}^3 K_{ijk} M_k + \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 G_{ijkl} M_k M_l + \dots$$

Bu denklemde K ve G doğrusal ve karesel manyeto-optik tensörlerdir. Maxwell denklemleri kullanılarak dairesel polarize dalgalara bağlı öz modlar kolayca çözülebilir. Bu durumda iki farklı kırılma indisi elde edilebilir. Artı işareti LCP eksi işareti ise RCP dalganın karmaşık sayı kırılma indisidir. Kırılma indisinin RCP ve LCP dalgalar için farklı olması manyeto-optik etkilerin temelini oluşturmaktadır.

$$n_{\pm} = \sqrt{\epsilon'_{xx} \pm i\epsilon'_{xy}} \quad (3)$$

Bu durumda iki dairesel polarize dalganın farklı kırılma indislerinden etkilenmesi faz ve genlik değişimlerinin farklı olacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda ortaya çıkan dalga

eliptik olacaktır. Ancak soğrulma olmayan durumda (gerçek n) yani gerçek ϵ'_{xx} ve tamamen sanal ϵ'_{xy} olması durumunda sadece iki dairesel polarize dalga arasında faz farkı oluşacaktır. Bu faz farkı da polarizasyon açısının farklı olmasına yani Faraday açısına sebep olacaktır. İki ışık farklı optik yollar izleyecektir. Genel olarak malzemelerde ϵ'_{xx} , ϵ'_{xy} ve dolayısıyla n_{\pm} karmaşık sayılardır. n_{\pm} için sanal kısım manyetik alan altında farklı soğrulmalara (magnetic circular dichroism) dolayısıyla eliptik polarizasyona sebep olacaktır. Bu durumda oluşacak faraday açısı θ_F ve faraday elipsliği ψ_F denklem 5 ile ifade edilebilir. Dielektrik tensörün dik elemanı ϵ_{xy} manyetik alana bağlı olduğu için faraday açısı da manyetizasyonla orantılı olacaktır.

$$\theta_F + i\psi_F = \frac{\pi}{\lambda} (n_{+} - n_{-}) \quad (4)$$

1.4 Manyeto-optik Özelliklerin Modellenmesi

YIG ve katkılanırılmış YIG MO spektrasının modellenmesi çalışmalarında bu iki geçiş kullanılmaktadır. Diyamanyetik geçişler taban seviyeden uyarılmış seviyelere etkileşimleri gösterirken, paramanyetik geçişler uyarılmış seviyelerden ayrılmış taban seviyelerine etkileşimleri göstermektedir. YIG dielektrik tensörü Kerr ve Faraday etkilerinin ölçümü ile belirlenebilir. Allen ve Dionne [13] Kerr veya faraday etkilerinin manyetize durum için elektrik dipol geçişlerinden kaynaklanan kazanç frekans bağıntılarına bağlı olarak YIG dielektrik tensör elemanları diagonal ve diagonal olmayan elemanları incelemiştir. Ölçüm sonucu ortaya çıkan spektral çizgilerden diagonal geçişlerin Kerr etkisinden dolayı ortaya çıktığı sonucundan yola çıkarak bu geçişlerin taban ve uyarılmış seviyelerin

orbital ayrışımından ortaya çıktığı belirlenmiştir. Fe^{3+} için taban ve uyarılmış seviyelerin spin orbit ayrışımı büyüklüğü için bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Kato ve grubu [14] tarafından manyetik katman içeren simetrik çok katmanlı filmlerin özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen çok katmanlı filmin manyeto-optik özellikleri ve ışık lokalizasyonu arasındaki korelasyon teorik ve deneysel olarak ele alınmıştır. Bu yapıda gerekli katman sayısı ile yüksek faraday dönme etkisi ve düşük soğrulma elde edilebilir ve özellikle optik izolatör gibi manyeto optik alet yapımında kullanılabilir. Gayeva ve Doroshenko [15] YIG yapısındaki oktahedral iyonlar Fe^{2+} , Fe^{4+} optik soğurma özelliklerini trigonal ve trigonal olmayan alanların birçok parametresine bağlı olarak incelemiştir. Ayrışmış taban seviyedeki leveller arasındaki geçişler dikkate alınarak. Deneysel sonuçlarda optik soğurmadaki fotoetki değişimleri YIG film için açıklanmaya çalışılmıştır. Ce katkılı YIG malzemelerinin yüksek faraday dönmesine sahip olmalarının keşfi ile bu konuda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Xu ve grubu [16] Ce katkılı YAG ve YIG malzemelerin optik spektrumundan yola çıkarak ve quantum teorisi kullanarak faraday etkisini hesaplamaya çalışmışlardır. Fakat garnet tipi malzemelerin temel manyeto-optik özellikleri için tam bir model oluşturulamamıştır.

2. GARNET ÜRETİM YÖNTEMLERİ

YIG üretmek için Radyo frekanslı (RF) püskürtme [17], sıvı faz epitaksiyel büyütme (LPE), atımlı lazer depozitleme (PLD) [9] ve sol-jel tekniği [18] gibi teknikler kullanılmaktadır. Sol-jel film üretmek için atomik boyutlarda karışım sağlaması düşük sentezleme sıcaklıkları ve düşük maliyet dolayısıyla avantajlı ve güncel bir yöntemdir. Sol-jel katı hammaddelerin solvent aracılığıyla çözüldüğü ıslak kimyasal yöntemdir. Sol-jel seramik ve cam materyalleri üretmek için çok

yönlü bir çözümdür. Kabaca sol-jel işlemi sistemin sıvı (sol) fazdan katı jel faza geçmesi işlemidir. Bir çok formda materyal üretmek mümkündür. Örneğin ince toz, küresel toz, ince film kaplama, seramik fiber, mikroporoziteli inorganik zar, monolitik seramikler ve camlar veya aşırı poroziteli aerogel materyaller.

İnorganik metal tuzları veya metal-alkoksit gibi metal organik bileşikler gibi başlangıç materyalleri “sol” hazırlamak için kullanılır. Tipik bir sol-jel işleminde, hammaddeler sıvı hidroliz ve polimerleştirme reaksiyonlarına tabi tutularak sıvı katı (suspension) formuna (veya “sol” getirilir). Sonraki işlemler ile sol formu değişik formlarda seramik materyal yapmak için kullanılır. İnce filmler altlık üzerine spin kaplama veya daldırma yoluyla kaplama yöntemleri ile üretilebilir. “sol” materyal kalıp içine konulursa “jel” formunda şekle girecektir. Daha fazla kurutma ve ısı işlemi ile “jel” yoğun seramik veya cam maddeye dönüşür. Eğer ıslak “jel” içindeki sıvıya ani ısı işlemler gibi kiritik şartlar uygulanırsa, yüksek porozitede ve çok düşük yoğunluklarda madde (aerogel) elde edilir. “sol” viskozitesi belirli bir orana ayarlanırsa, seramik fiberler üretilebilir. Çok ufak taneli ve homojen seramik tozları emülsiyon, sprey pyrolysis veya (kaplama, öğütme) çökeltme yöntemleri ile üretilebilir.

2.1 Sol-Jel Üretim İşlemi

Sol-jel üretim işleminde takip eden işlem basamakları uygulanabilir.

1. $Y_3Fe_5O_{12}$ üretmek için 3mol Y-Alkoxide, 5 mol Fe-Alkoxide hammaddeleri gereklidir. Bu mol oranlarını doğru olarak elde etmek için ve işlem sonunda homojen bir yapı elde etmek için kullanılacak hammaddelerin gerekli mol oranlarını sağlayacak ağırlarda yüksek hassasiyette kullanılması gereklidir. Bu sebeple hassas tartıda tartılmalıdır. Çalışma ortamı nemsiz olmalıdır.

2. Solvent hazırlanmalı ve çözücü madde olarak metanol, su veya etanol kullanılabilir.
3. Kompleksleşme reaksiyonları elde edilir. Şelat ajan olarak (Chelating Agent) GAA (Glasiyel asetik asit) kullanılabilir.
4. Saydam çözelti elde edilmeli.
5. İstenilen formun elde edilmesi için

a. İnce Film için

- spin kaplama,
- daldırma ve
- damlatma işlemlerinden biri yapıldıktan sonra, altlık üzerine Y-Fe-CO-H yapısında jel kaplanır ve 300°C'de 5 dakika kurumaya bırakılır.

Homojenliğin sağlanması için yüzeye bırakılan solvent madde yüzeye tam yayılmalıdır. Altlık seçiminde cam, gadolinyum galyum garnet (GGG) gibi maddeler kullanılabilir fakat kullanılacak altlığın temiz ve pürüzsüz seçilmesi üretilen filmin yüzey özellikleri açısından önemlidir. Altlık ile üretilecek garnet yapının kristal yapılarındaki uyum ince film oluşumunu kolaylaştırır. Termal genişleme katsayısı ise çatlaksız film oluşumu için önemlidir.

b. Toz hazırlamak için düşük sıcaklıkta havada bekletilir. Ve sonrasında ısı işlem uygulanır.

6. Ara ısıl işlem: Bazı durumlarda hemen şekillenme gerçekleşebilir (belirli baryum ferrite sınıflarında) ve sinterlenebilir. Fakat genelde ara bir ısıl işlem gereklidir. Ara ısıl işlem sinterlemeye göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Daha saf maddeler elde edilir ve sinterleme işleminde gerekli difüzyon miktarını azaltır. Kimyasal bileşenleri uzaklaştırmak için kullanılır.
7. İnce filmler için tavlama işlemi uygulanır. Bu sıcaklık 600-1200°C aralığında seçilebilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çözeltilerin hazırlanmasında izlenen yol kısmi çözdürme şeklinde adlandırılabilir. Stokiyometrisi $Y_3Fe_5O_{12}$ olarak verilen çözeltinin hazırlanmasında izlenen yol; itriyum bileşeni metanol ve şelat ajanı GAA içinde

çözünene kadar karıştırılmıştır. Sonrasında demir bileşiği alkol ile kaba eklenmiştir ve 24 saat süreyle manyetik karıştırıcı ile karıştırılan çözelti homojen ve saydam hale getirilmiştir. Hazırlanan çözeltilerin karakterizasyonu için çeşitli testler uygulanmıştır. Genel olarak uygulanan testler şu şekildedir.

3.1 Çözelti Bulanıklık (Türbidite) Değerleri

Bulanıklık ölçümü ile toz haldeki ön maddelerin çözünme oranı tespit edilmiştir. Çözelti bulanıklığının, 0 ntu değerine yaklaşması tam çözünmenin sağlandığını, 1000 ntu değerine yaklaşması ise toz haldeki ön maddelerin tam çözünmediğini ve parçacıklar halinde çözelti içerisinde asılı kaldıklarını göstermektedir. Kullandığımız yöntemde YIG için bulanıklık 329 ntu olarak ölçülmüştür. Çözeltideki bulanıklık değerlerinin yüksekliği, kullanılan demir alkoksitin çözeltiye kazandırdığı kırmızı renkten kaynaklanmaktadır.

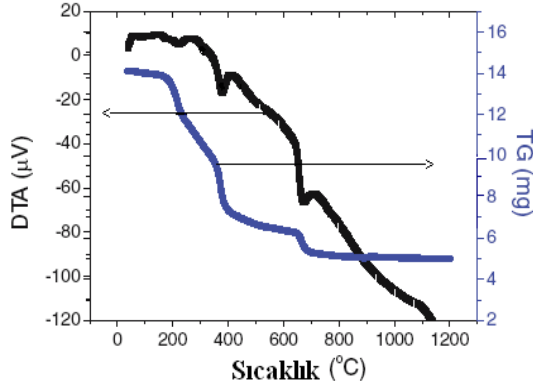
3.2 Çözeltilerin pH Değerleri

Çözeltinin pH değeri, jelleşme sürecinde, jelin üç boyutlu polimer yapısının oluşumunu etkileyen önemli bir faktör olduğundan çözelti hazırlanırken dikkate alınması gerekmektedir. Üç boyutlu polimer yapının oluşumu, çözelti içerisindeki iyonların birbirleri arasında kurdukları Van der Waals etkileşimlerin sonucudur. Asidik karaktere sahip bir çözeltinin jelleşmesi esnasında dallanmış yapı rasgele oluşurken, bazik karakter gösteren bir çözeltinin jelleşmesi sırasında birbirinden ayrı topakların oluşumu gözlenir. YIG için hazırlanan çözeltide pH değeri 3.7 olarak belirlenmiştir.

3.3 DTA/TG

DTA/TG ölçümü sırasında sıcaklığa bağlı değişimler Şekil 3'te gösterilmiştir. Buna

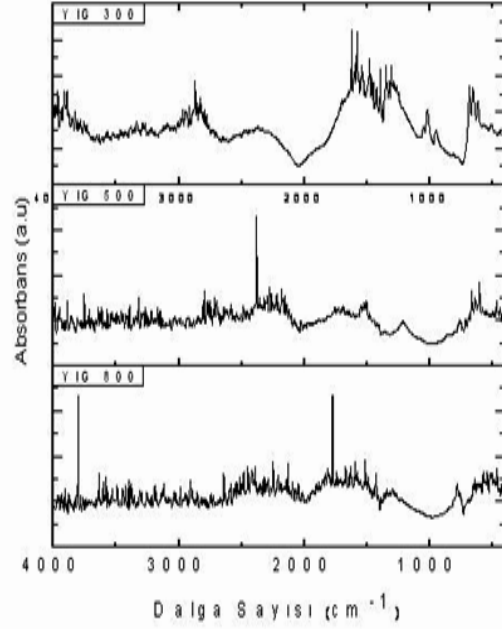
göre; 30-120°C arasında oluşmuş endotermik pikler uçucu organik bileşenlerin buharlaşma reaksiyonları için harcanan enerjiye karşılık gelmektedir. 130-300°C arasında oluşmuş ekzotermik pik çözelti içerisindeki karbon esaslı bileşenlerin yanma reaksiyonları sonucu açığa çıkan enerjiyi göstermektedir. 350-400°C arasında oluşmuş endotermik pik oksit oluşum reaksiyonları için gerekli enerjiye karşılık gelmektedir. DTA/TG eğrisinde, 700°C'de başlayan ekzotermik pik faz dönüşümü sırasında açığa çıkan enerjiyi göstermektedir.



Şekil 3. YIG Diferansiyel termal analiz (DTA) grafiği

3.4 FTIR Analizi

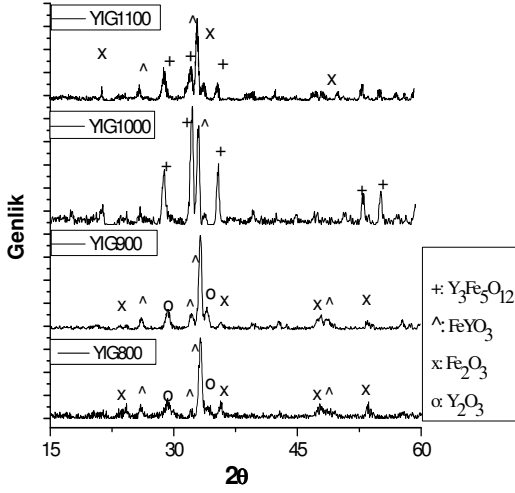
300°C, 500°C ve 800°C sıcaklıklarında 30 dakika boyunca hava ortamında ısıl işleme tabi tutularak üretilmiş YIG örneğinin FTIR grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. FTIR verileri DTA-TG sonuçlarıyla uyum sağlamıştır. OH bağı düşük frekanslara doğru değişmektedir. 300°C'de O-H, C=O ve M-OCOO-M bağların frekansları azalmış ve 500°C civarında kaybolmuştur. 500°C ve 800°C sıcaklıklarında ise, O-H, C=O ve M-OCOO-M bağlarına dair sinyal bulunamamıştır. Bu olay organik yapıların ve hidroksillerin tamamen yok olduğu görülüyor. Sonuçların, ortak özellikleri de 600 cm^{-1} aşağısında Y=O ve Fe=O bağlarının olması, YIG oluşumunu olumlu yönde etkileyecektir.



Şekil 4. Sırasıyla yukarıdan aşağıya 300, 500 ve 800°C hazırlanmış YIG kserojellere ait FTIR eğrileri.

3.5 XRD Analizi

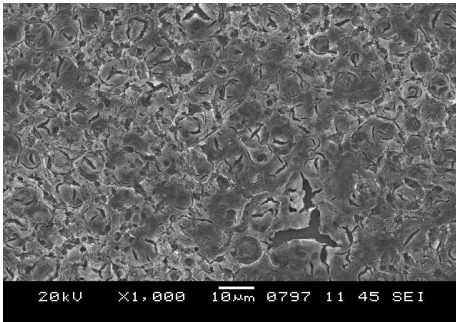
Üretilen ince filmlerin XRD paternleri, cihazın kütüphanesinde bulunan referans paternler ile kıyaslanarak faz analizi gerçekleştirilmiştir. Si(100) altlık üzerine kaplanmış ince filmde 1000 °C'de katkılanılmamış YIG fazı elde edilmiştir. Şekil 4.8'de katkılanılmamış YIG numunelerine ait XRD paterni verilmiştir. Isıl işleme beraber 800 °C'de Fe₂O₃ (hematit), Y₂O₃ ve FeYO₃ (YIP) fazları oluşmuştur. Ancak ısıl işlemin arttırılmasıyla 1000 °C'de baskın faz olarak kübik YIG elde edilmiştir. YIP ve hematit fazları YIG için ara fazlardır. Bu ara fazlar ilgili reaksiyon gereği 800°C üzerindeki sıcaklıklarda garnet fazına dönüşmektedir [18]. Fakat sıcaklık 1000°C üstüne çıktığında ise YIG fazından YIP, hematit ve Y₂O₃ fazlarına bozulma eğilimine girdiği görülmektedir.



Şekil 5. Si(100) altlık üzerine kaplanmış YIG örnek için XRD paterni

3.6 Mikroyapı analizi

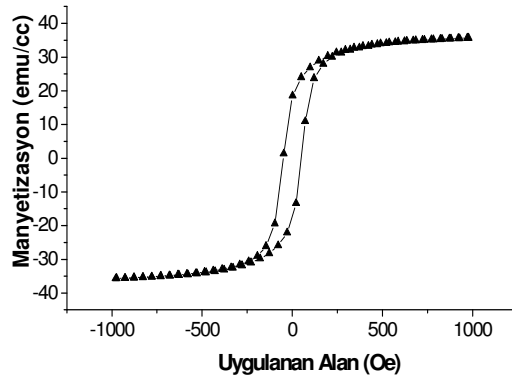
Şekil 6'da Si(100) altlıklar üzerine kaplanmış YIG1000 kodlu örneğe ait SEM fotoğrafı görülmektedir. YIG fazı elde edilen YIG1000 kodlu numunenin yüzey morfolojisi incelendiğinde, yüzey adalı bir yapıya sahiptir. Bu tip bir yüzey morfolojisi, elektronik, manyetik ve manyeto-optik özellikleri olumsuz yönde etkileyecektir. Bu tip bir yüzey morfolojisinin, ısı işlem ve soğutma rejimi kaynaklı, termal şokun sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca film kalınlıklarının fazla olması (yaklaşık 1 µm) ve altlık ve YIG termal genleşme katsayılarının farklı olması da yüzey özelliklerini kötü etkilemektedir.



Şekil 6. Si (100) altlık üzerine kaplanmış YIG1000 kodlu örnek.

3.7 Manyetik Özellikler

Manyetizasyon (M) ve uygulanan manyetik alan (H) eğrileri, altlıktan kaynaklanan diyamanyetik katkı çıkarılmaksızın VSM cihazı ile elde edilmiştir. İnce film yüzeyine manyetik alanın paralel uygulandığı durumda ölçümler gerçekleştirilmiştir. YIG1000 kodlu örneğe ait VSM ölçümü Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 7. YIG1000 örneğine ait histerezis eğrisi

Elde edilen doymuş manyetiklik değeri hacimli YIG için verilen doyma manyetizasyon (136 emu/cc) değerinden daha düşüktür. Bunun sebebi yapıda bulunan YIP ve diyamanyetik Y_2O_3 ara fazlarının birim hacimdeki ortalama manyetik moment sayısını azaltarak manyetizasyonu olumsuz etkilemesidir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Başlangıç materyallerinin şelat ajanı ve solvent ortamında çözünmesi ve homojen bir solüsyon oluşturmak sol-jel yönteminin ilk ve en önemli adımlarından biridir. Çözelti içinde oluşan bağlar ve pH değerleri film oluşumunu etkilemektedir. Film kalitesi için solüsyonun ıslatılabilirliği geliştirilmeli. Bu sayede homojen ve istenilen kalınlıkta film yapıları oluşturulabilir. Diğer bir önemli parametre ise

ısırl işlem şartlarıdır. Bu işlem DTA-TGA sonuçlarına göre yapılması faydalıdır. Ancak ince film oluşma dinamiklerinde faz oluşum sıcaklıklarının farklılaşması da dikkate alınmalıdır. Özetle istenilen kristal yapının istenilen kalınlıkta oluşturulabilmesi için, çözünme pH gibi solüsyon parametreleri, kaplama yöntemi, altlık seçimi, film kalınlığı, ısırl işlem basamakları ve ısırl işlem süreleri dikkatli şekilde ayarlanmalıdır.

Ölçüm alınırken basit parametrelere dikkat edilmesi birçok gereksiz ölçümden kurtarabilir. Örneği XRD ölçümlerine göre oldukça kolay olan görünür ışık ve kızılötesi bölgede yansıma ve soğrulma değerleri yorumlanarak (bu imkân yok ise basitçe renk oluşumları dikkate alınabilir) faz yapısının oluşup oluşmadığı öngörülebilir. Örneğin yapıda oluşabilecek Fe₂O₃ fazı kırmızıya çalan kahverengi iken, Ce:YIG ise yeşilimsi bir renktedir. Manyetik özelliklerin değerlendirilmesinde ise elektronik ve kristal yapının yanında mikro yapı, yüzey, altlık ve kristal yapısı önemli bilgiler vermektedir. Üretim sonrasında uygulanacak ek işlemler ile malzeme özellikleri değişebilir. Örneğin üretilmiş YIG malzemesi altın kaplanarak optik ve manyeto-optik özellikleri değiştirilebilir [19] veya Co kaplanarak manyetik özellikleri geliştirilebilir [20]. Rf ve mikrodalga bölgesinde kullanım alanları yanında görünür ışık bölgesinde veri anahtarlama, manyetik kayıt sistemlerinde kullanımı, optik izalatör uygulamaları üzerine araştırmalar devam etmektedir.

Kaynaklar

[1] Higuchi, S., Furukawa, Y., Takekawa, S., Kamada, O., Kitamura, K. and Uyeda, K., "Magneto-optical properties of cerium-substituted yttrium iron garnet single crystals for magnetic-field sensor", *Sens. Actuators A* 105: 293–296 (2003).

[2] Shintaku, T., and Uno, T., "Preparation of Ce-substituted yttrium iron garnet films for magneto-optic waveguide devices" *Jpn. J. Appl. Phys.* 35:

4689–4691 (1996).

[3] Enoch, R.D., 'Magnetic Domain Studies on Yttrium Iron Garnet Using Infrared Image Converter', *Comtemp. Phys.*, 16 (6): 561-573 (1975).

[4] Harris, V. G., Geiler, A., Chen, Y., Yoon, S. D., Wu, M., Yang, A., Chen, Z., He, P., Parimi, P. V., Zuo, X., Patton, C. E., Abe, M., Acher, O., Vittoria, C., "Recent advances in processing and applications of microwave ferrites", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 321: 2035–2047 (2009).

[5] Atoneche, F., Kalashnikova, A. M., Kimel A. V., Stupakiewicz, A., Maziewski, A., Kirilyuk, A., and Rasing Th., Large ultrafast photoinduced magnetic anisotropy in a cobalt-substituted yttrium iron garnet", *Phys. Rev. B* 81: 214440 (2010).

[6] Rastogi, A. C. ve Moothy, V. N., "Magnetic properties of multilayers of nano thin Co,Ce-doped and undoped yttrium iron garnet films for magneto-optic applications", *Materials Science and Engineering B95*: 131 (2002).

[7] Xu, H., and Yang, H., "Magnetic properties of YIG doped with cerium and gadolinium ions", *J Mater Sci: Mater Electron* 19: 589–593 (2008).

[8] Ramadan, S., Baa'iah, N. I., Mustafa, A., et al., "The Physical Properties of Erbium-Doped Yttrium Iron Garnet Films Prepared by Sol-Gel Method", *Journal of Nanomaterials*: 524903 (2012).

[9] Hwang, J. Y., Ferrera, M., Razzari, L., Pignolet, A., and Morandotti R., "The role of Bi³⁺ ions in magneto-optic Ce and Bi comodified epitaxial iron garnet films" *Appl. Phys. Lett.* 97: 161901 (2010).

[10] Pardavi-Horvath, M., "Microwave applications of soft ferrites", *J.of Mag.and Mag. Materials* 215-216: 171-183 (2002).

[11] Kirilyuk, A., Kimel A.V. and Rasing T., "Ultrafast optical manipulation of magnetic order" *Reviews of Modern Physics* 82 (3): 2731-2785 (2010).

[12] Geller S., and Gilleo, M. A., "Structure and ferrimagnetism of yttrium and rare-earth-iron garnets" *Acta Cryst.* 10: 239 (1957).

[13] Allen, G. A., Dionne, G. F., "Accurate analysis of the magneto-optical permittivity tensor of Y₃Fe₅O₁₂", *Jour. of Applied Physics* 93: 6951-6954 (2003).

[14] Kato, H., Nishimura, K. and Inoue, M., "Theroretical analysis of optical and magneto-optical

properties of one dimensional magnetophotonic crystals”, J.of Applied Physics 93: 3906-3912 (2003).

[15] Gayeva, Z. V., Doroshenko, R. A., “Optical Absorption of Octohedral ions Fe²⁺, Fe⁴⁺ and photoinduced effect in YIG single crystals”, J.of Mag.and Mag. Materials 268 (1-2): 1-7 (2004).

[16] Xu, Y., Yang, J.H. and Zhang, G.Y., “A theoretical investigation on the magneto-optical spektra of Ce-substituted yttrium aluminium garnet”, J.Phys.:Condens. Matter 7: 6151-6159 (1995).

[17] Yang, Q., Zhang, H., and Liu, Y., “Study of magnetic and magneto-optical properties of heavily doped bismuth substitute yttrium iron garnet (Bi:YIG) film”, Rare Metal: 557 (2006).

[18] Xi-Wen, Z., “Fabrication of crystalline bismuth-substituted yttrium iron garnet nanofibers via sol-gel and calcination assisted electrospinning”, Journal of Crystal Growth: 3235 (2008).

[19] Belotelov, V. I., Akimov, I. A., Pohl, M., Kotov, V. A., Kasture, S., Vengurlekar, A. S., Achanta Venu Gopal, D. R. Yakovlev, A. K. Zvezdin ve M. Bayer Enhanced magneto-optical effects in magnetoplasmonic crystals”, Nature Nanotechnology 6: 370–376 (2011).

[20] Rastogi, A.C., Moothy, V. N., “Magnetic properties of multilayers of nano thin Co, Ce-doped and undoped yttrium iron garnet films for magneto-optic applications”, Materials Science and Engineering B95: 131-136 (2002).

Geliş Tarihi: 06/07/2011

Kabul Tarihi: 12/01/2012