

## Nanoyapılı Hegzagonal Bor Nitrür Üretimi ve Karakterizasyonu

**Handan AYDIN**

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELİ  
haydin@munzur.edu.tr

(Geliş/Received:22.05.2018; Kabul/Accepted:02.07.2018)

### Özet

h-BN fiziksel özellikleri ve kimyasal kararlılığı sebebiyle geniş optik enerji bandı aralığına sahip olan bir III- V grubu bileşiktir. Eşsiz özelliklere sahip, yapay bir malzeme olan hegzagonal bor nitrür pek çok sektörde kullanımı giderek artmaktadır. Bor nitrür, farklı metotlar ile üretilebilmektedir. Bu çalışmada, borik asitten bor oksit üretilmiş ve bor oksitin 850 °C'de nitrürlenmesi ve 1500 °C'de sinterlenmesi sonucunda hegzagonal bor nitrür (h-BN) elde edilmiştir. Üretilen hegzagonal bor nitrürün saflığını, bal peteği ve tabakalı yapısını belirlemek amacıyla XRD, SEM, FT-IR ve optik ölçümler ile karakterize edilmiştir. Numunenin XRD spektrumu, Bor Nitrür nanotozların hegzagonal BN yapıda ve polikristalin olduğunu ortaya koymaktadır. BN numune için kristal boyutu 71.2 nm olarak bulunmuştur. SEM fotoğrafları nano tanelerden oluşan yapıyı doğrulamıştır. Elde edilen sonuçlar BN numunesinin nanoyapıya sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Hegzagonal Bor Nitrür, Nitrüleme, Borik Asit, Nano BN

## The Production and Characterization of Nanostructured Hexagonal Boron Nitride

### Abstract

h-BN is III-V group compound having broad optical energy band gap due to its physical properties and chemical stability. Hexagonal boron nitride, an artificial material with unique properties, is increasingly used in many sectors. Boron nitride can be produced by different methods. In this study, hexagonal boron nitride (h-BN) was produced from boron oxide nitriding at 850 ° C and by sintering at 1500 ° C. To determine the purity, honey pheasant and stratified structure of the produced hexagonal boron nitride, It is characterized by XRD, SEM, FTIR and optical measurements. XRD patterns of the sample reveal that the Boron Nitride nanopowders are polycrystalline of hegzagonal BN structure. The crystallite size for BN sample were found to be 71.2 nm. Scanning Electron microscope (SEM) photographs demonstrated a nano-grain structure. The obtained results indicate that the BN sample have the nanostructure.

**Keywords :** Hexagonal Boron nitride, Nitriding, Boric Acid, Nano BN

### 1. Giriş

Bor nitrür (BN) üstün kimyasal, elektriksel ve ısı özelliklere sahip bir bileşik olup hegzagonal (h-BN), wüstitik (w-BN) ve kübik (c-BN) bor nitrür yapılarına rastlanmaktadır. Bor Nitrür'ün kristalin yapısı karbona benzemektedir. Bu nedenle hegzagonal bor nitrür genellikle beyaz grafit veya beyaz karbon olarak isimlendirilir [1,2].

Doğada bulunmayan yapay bir malzeme olan hegzagonal bor nitrür, bor ve azotun bir araya getirilmesiyle üretilmektedir. Hegzagonal bor nitrür, sıcaklık ve basınç etkisiyle kübik bor nitrüre dönüştüğünde, elmasın tipik özelliklerine

benzer özelliklere sahip olabilmektedir. [3-7]. Tam teşekkül etmiş BN ile grafitin latis parametreleri birbirine çok benzerdir. BN ve grafit için sırasıyla  $a_{BN}=2,504 \text{ \AA}$ ,  $c_{BN}=6,661 \text{ \AA}$ ,  $a_G=2,456 \text{ \AA}$  ve  $c_G=6,696 \text{ \AA}$ 'dır. B-N için bağ uzunluğu 1,446 Å, C-C bağ uzunluğu ise 1,45 Å 'dur. Tabakalar arası mesafe h-BN için 3,33 Å, grafit için 3,34 Å'dır. h-BN'ün grafitten farkı ise beyaz oluşu ve yüksek elektrik direncidir. Saf ve hatasız h-BN saydamdır, grafit ise siyahtır. BN tozları dokununca ipeksi dokunuş hissettirir. Monolitik BN'ler çok kolay işlenebilir ve toksik değildirler [8-12].

Bor Nitrür'ün tabakalar arası bağları zayıf olduğundan, düzensiz tabakalaşma çok kolay

olur. Birbirine paralel veya dik yönde geliş güzel dizilmiş olan bu tabakalar arasında boşluklar oluşur. Oluşan boşluklar ise, kullanım sırasında malzemenin ısı şok direncini artırır. Gözenekli yapısı, düşük elastisite modülü, yüksek ısı iletkenliği ve ısı genleşme özellikleri nedeniyle, sıcak preslenmiş BN' ün ısı şok dayanımı çok iyidir.

Bor Nitrür, yüksek sıcaklıklarda yarıiletken özellik gösterir. Ölçülen ve hesaplanan yasak enerji aralığı değerleri farklılıklar gösterebilir. Fakat, genel olarak bor nitrürün yasak enerji aralığının 5.2 eV olduğu kabul edilir. Buna ek olarak, dielektrik sabitinin de literatürde farklı araştırmacılar tarafından birbirine yakın ama değişik değerlerde verildiği çalışmalara rastlamak mümkündür. Birçok özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle BN ve ürünlerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bor nitrür, taşıdığı yüksek ısı şok direnci, ısı iletkenlik, elektriksel yalıtıcılık, kimyasal kararlılık ve yağlayıcılık gibi üstün özelliklere sahip sentetik bir malzemedir. Bu özellikleri sayesinde Bor Nitrür, yüksek sıcaklık uygulamalarında, elektrik-elektronik endüstrisinde, seramik-kompozit malzemelerin yapımında ve kimya endüstrisinde toz, sprej veya macun şeklinde kullanılmaktadır. [13-21].

Ülkemiz (Türkiye) bor kaynakları, 2,5 milyon tonluk rezerv ile dünya rezervlerinin % 63'ünü oluşturmaktadır. Son yıllarda özellikle mühendislik seramiklerinin gelişmesine bağlı olarak sektörde üretim yapan mevcut üreticiler, tamamen dışarıya bağımlı özel bor içeren seramik hammaddeleri ile çalışmaktadırlar. Özellikle bor sektöründe dünya piyasasına hakim olmamıza rağmen, ülkemiz koşullarında işlenmiş bor ürünleri ve türevleri üretilmemektedir.

Genel olarak bor nitrür, çeşitli metotlarla üretilebilmektedir. Literatürde, sıklıkla rastlanan üretim metotları, direk redüksiyon ve azotlama, karbotermal redüksiyon, bor bileşiklerinin amonyak ile reaksiyonu, bor oksit'in moleküler azot ve hidrojenle reaksiyonu, azot içeren bileşiklerin bor oksit veya oksijen içeren borlu bileşiklerle reaksiyonu, alkali element içeren sistemlerden bor nitrür eldesi ve amonyaklı bileşiklerden bor nitrür eldesi şeklinde verilebilir.

Bu çalışmada ise, bor oksitin amonyakla nitrülenmesi yoluyla h-BN üretilmiş ve üretilen bu nano tozların karakterizasyonu yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Bor nitrür nanotozların hazırlanması

Bu çalışmada, başlangıç maddesi olarak Sigma Aldrich firmasından temin edilen borik asit ( $H_3BO_3$ ) kullanılmıştır. Borik asit' in 500 °C'ye ısıtılması sonucunda  $B_2O_3$  elde edilmiştir. Elde edilen bor oksit bir tüp fırın içerisine yerleştirilmiş ve 850 °C'de (1 L/dak) Azot (N) gazı ile 2 saat boyunca nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra oda sıcaklığına doğal olarak soğuması sağlanmıştır. Isıtma ve soğutma işlemi sırasında N gazı verme işlemi devam etmiştir. Bu işlem sonucunda ham bor nitrür elde edilmiştir. Elde edilen bu ham bor nitrürde, bor oksit, kalsiyum borat fosfat gibi çeşitli safsızlık fazları mevcuttur. Bu safsızlıklar ise, liç işlemi ile uzaklaştırılmıştır. Saflaştırılmış üründe bir miktar kalsiyum borat fosfat safsızlığına rastlanmıştır. 900 °C' de 1 saat süreyle yapılan kalsinasyon ısı işlemiyle kalsiyum borat fosfat uzaklaştırılmıştır. Kalsinasyon sonrası elde edilen tozlar, laboratuvar tipi hidrolik press yardımıyla 5 ton basınç altında 1cm çapında pellet formunda şekillendirilmiştir. Pellet halindeki numunenin, 1500 °C'de sinterlenmesi ile hegzagonal bor nitrür (h-BN) oluşması sağlanmıştır.

### 2.2. Karakterizasyon teknikleri

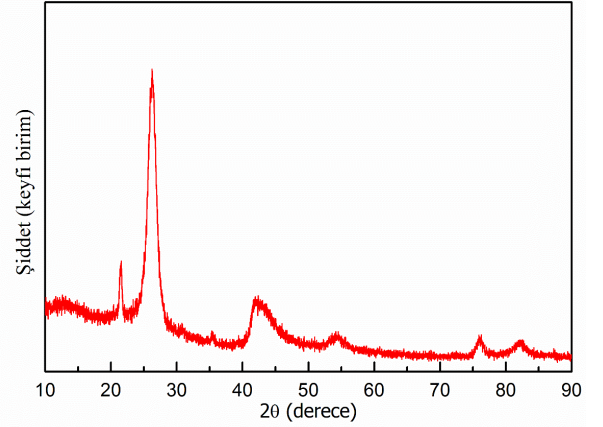
Hidrolik pres ile tablet olarak şekillendirilen numunenin yüzeyi temizlenip, ardından Denton Vacuum Desk V kaplama cihazı yardımıyla 30 saniye boyunca altın ile kaplanmıştır. Hazırlanan numunenin nano boyuttaki yüzey morfolojisini belirlemek için Jeol JSM-7001F marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Hegzagonal Bor Nitrür'ün kimyasal bağ karakterizasyonu için Thermo Scientific Nicolet iS5 marka fourier dönüşümlü infrared spektrofotometreden faydalanılmıştır.

Numunenin optik karakterizasyonu Shimadzu UV-VIS-NIR 3600 model spektrofotometre ile 200–1200 nm dalga boyu aralığında alınmıştır. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır.

### 3. Deneysel Sonuçlar

#### 3.1. XRD analiz sonuçları

Hazırlanan toz halindeki numunedan elde edilen X-ışını difraksiyon deseni yardımıyla, piklerin şiddetlerine ve yarı pik genişliklerine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilmiştir. İyi bir kristalleşme seviyesine sahip malzemenin X-ışını kırınım spektrumu, şiddeti minimum olan bir zemin üzerinde bulunan yüksek şiddetli ve yarı pik genişlikleri dar olan piklere sahiptir. Eğer yarı pik genişlikleri geniş ve pik şiddetleri düşük ise kristalleşme seviyesinin iyi olmadığı söylenebilir [26].



Şekil 1. h-BN numunesine ait X-ışını kırınımı analiz sonuçları.

Tablo1. h-BN numunesine ait kristal yapı parametreleri.

	2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Pik Şiddeti (%)	h	k	l	d (Å)	Kristal Yapısı	Kristal boyutu (nm)
BOR NİTRÜR	26,771	970	100	0	0	2	3.32738	Hegzagonal	71,202
	41,594	274	28,2	1	0	0	2.16949		
	43,885	252	26	1	0	1	2.06140		
	50,161	116	12	1	0	2	1.81721		
	55,163	137	14,1	0	0	4	1.66369		
	59,56	70	7,2	1	0	3	1.55093		
	71,402	67	6,9	1	0	4	1.32001		
	75,926	129	13,3	1	1	0	1.25222		
	82,185	126	13	1	1	2	1.17196		

Bu çalışmada elde edilen numunenin kırınım spektrumları incelenerek malzemenin kristal yapısı belirlenmiştir. Ayrıca ilgili düzlemlerin Miller indisleri verilmiş ve sonuçlar JCPDS kartı ile desteklenmiştir.

Ayrıca yine X-ışını kırınımı sonucu kullanılarak numunenin kristal büyüklüğü, Debye-Scherrer denklemi olarak bilinen,

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

bağıntısı yardımı ile hesaplanmıştır. Bu denklemde;  $D$  kristal boyutu,  $\beta$  maksimum şiddetli pikin radyan olarak yarı pik genişliği,  $\theta$  Bragg açısı ve  $\lambda$  kullanılan ışının dalga boyudur [22].

Üretilen numune için yapılan analiz sonucu elde edilen pikler, Bor Nitrür için  $P63/mmc$  uzay grubunda, Hegzagonal kristal kafes yapısında örgü sabiti  $a=b=2.504$ ,  $c=6.661$  nm

olarak hesaplanmış ve JCPDS 00-009-0012 kartı ile desteklenmiştir.

Üretilen BN numunenin kristal yapısı Şekil 1'de, bu yapının kristal özelliklerine ait  $2\theta$  açıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 1'de üretilen h-BN numunesine ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Numunenin kırınım spektrumu incelendiğinde, hazırlanan nano yapı h-BN numunesinin polikristal yapıda olduğu, pik şiddetleri ve genişlikleri arasında ise farklılıkların olduğu görülmektedir. Şiddetleri büyük ve genişlikleri dar olan piklerde kristalleşmenin iyi, şiddetleri küçük ve genişlikleri büyük olan piklerde ise kristalleşmenin iyi olmadığı görülmektedir.

h-BN numunesindeki kristal atomları (002), (100) ve (101) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (002) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır. En yüksek pik şiddetine

sahip olan  $2\theta=26,771^\circ$  deki (002) düzlemine ait düzlemler arası mesafe  $d=0,3327$  nm, maksimum pikin yarı pik genişliği (FWHM) ise 1,316 olarak ölçülmüştür. Bu değerin Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Debye-Scherrer formülünden kristal boyutu 71,2 nm olarak hesaplanmıştır.

### 3.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları

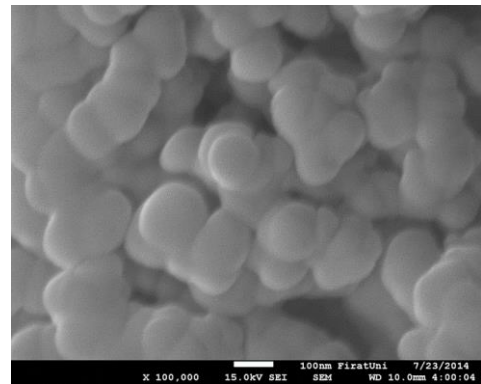
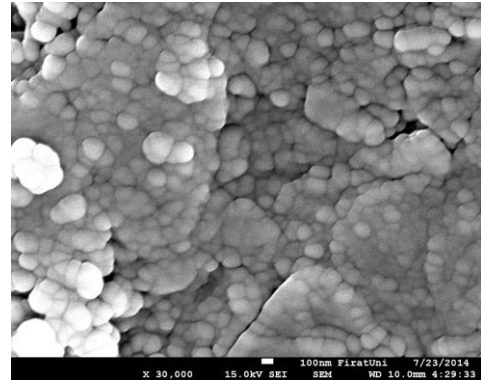
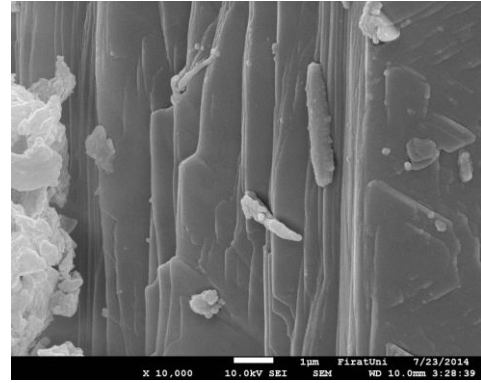
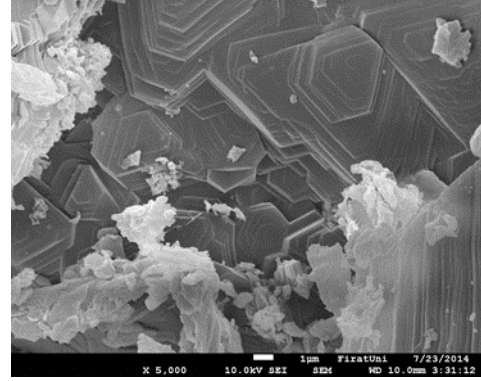
Üretilen h-BN numune için 5000X, 10.000X, 30.000X ve 100.000X büyütme oranlarında alınan SEM fotoğrafları Şekil 2(a, b, c, d)' de verilmiştir.

Şekil 2'de gösterilen SEM resimlerinde, çok sayıda hegzagonal yapıya sahip BN'ler yer aldığı görülmektedir. Bunlar üst üste binmiş eş eksenli homojen dağılımlı altıgen levhalar şeklindedir. Boyut olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük büyütmelerde ortalama  $1\mu\text{m}$  den başlayan altıgen levha boyutları  $10\mu\text{m}$ ' ye kadar ulaşmaktadır. Levhaların birbiri üzerine tabakalı olarak bağlandığı ve oluşan her bir BN tabakasının birden çok BN nano taneden oluştuğu yüksek büyütmedeki SEM resimlerinde açıkça görülmektedir.

Yüksek büyütmelerde alınan fotoğraflardan ortalama tane boyutu 74 ile 112 nm aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu ise üretilen h-BN numunenin her ne kadar büyük boyutlu hegzagonal tabakalardan oluştuğu izlenimi bıraksa da aslında yapının nano boyutta olduğunu ve nanoboyutlu tanelerin bir araya gelerek büyük boyutlu taneleri oluşturduğunu açıklamaktadır. Elde edilen SEM görüntüleri, XRD sonuçları yardımıyla hesaplanan kristal boyutu ile uyum göstererek nano boyutlu toz üretildiği sonucunu doğrulamaktadır. Bulunan bu sonuçlar, literatür ile birebir uyum göstermektedir [27].

### 3.3. Fourier transform IR (FT-IR) spektroskopisi sonuçları

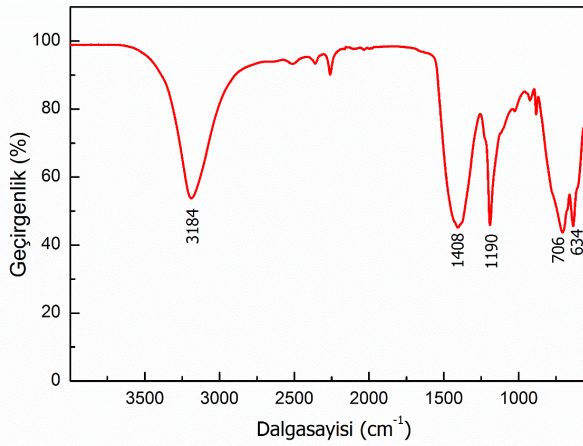
Hidrotermal metot ile sentezlenen h-BN nano tozlarının FT-IR analizi, hem reaksiyon işleminin kontrolü için hem de elde edilen yeni malzemelerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir.



Şekil 2. Üretilen h-BN numuneye ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri.

Bu sebepten dolayı, numunedeki atomlar arası kimyasal bağlanmayı araştırmak için FT-IR spektroskopisi uygulanmıştır. FT-IR ölçümleri 500 ile 4000  $\text{cm}^{-1}$  dalgasayısı aralığında alınmıştır. Elde edilen veriler literatür ışığında doğrulanmıştır. h-BN numunesine ait FT-IR spektrumu Şekil 3'te gösterilmektedir.

FT-IR analizleri sonucunda; h-BN piklerinin literatürde elde edilen piklere benzer davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi, numunenin FT-IR spektrumunda h-BN' e ait iki kuvvetli karakteristik pik tespit edilmiştir. Bunlardan, 1408  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında görülen pik BN' nin düzlem içi B-N gerilme titreşimine, 706  $\text{cm}^{-1}$ ' deki pik ise BN' nin sahip olduğu düzlem dışı B-N-B eğilme titreşimidir.



Şekil 3. Hidrotermal metot ile sentezlenen h-BN numunesine ait FT-IR spektrumu.

Yaklaşık olarak 3184  $\text{cm}^{-1}$ ' deki pik numunenin havadan aldığı nem sebebiyle oluşan O-H gerilme titreşimini göstermektedir. Yukarıda verilen h-BN numunesine ait FT-IR spektrumu sonuçları, XRD sonuçları ve literatürde tespit edilen sonuçlarla uyum içerisinde.

### 3.4. Optik karakterizasyon sonuçları

Hidrotermal metot yardımıyla sentezlenen h-BN numunenin oda sıcaklığındaki yansımaya spektrumu 200-1200 nm tarama bölgesinde UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazıyla alınmıştır. Numunenin yasak enerji aralığının belirlenmesinde optik absorpsiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde elde edilen reflektans eğrisi Kubelka-Munk [23] denklemi

yardımıyla absorpsiyon spektrumuna dönüştürülmüştür.

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (2)$$

Denklem 1'de verilen,  $R$  diffuse reflektans,  $F(R)$  ise Kubelka-Munk fonksiyonudur. Numune kalınlığı yardımıyla numunenin  $h\nu$ 'ye karşı  $(ah\nu)^{1/n}$  grafiği çizilmiştir. Grafiğin lineer olduğu kısma karşı gelen doğrunun  $h\nu$  eksenini  $(ah\nu)^n = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri o materyalin yasak enerji aralığı değerini verir.  $n$  değeri 2 ise materyal dolaylı band aralığına sahiptir,  $n$  değeri  $1/2$  ise materyal doğrudan band aralığına sahiptir. Elde edilen grafiklerde  $n$  yerine  $1/2$  konulduğunda en iyi lineerlik belirlenmiştir. Böylece numunenin doğrudan band geçişine sahip olduğu belirlenmiştir. Yasak enerji aralığının hesaplanmasında [24] ;

$$(ah\nu) = A.(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

formülü kullanılmıştır. Denklem 3' e göre ;

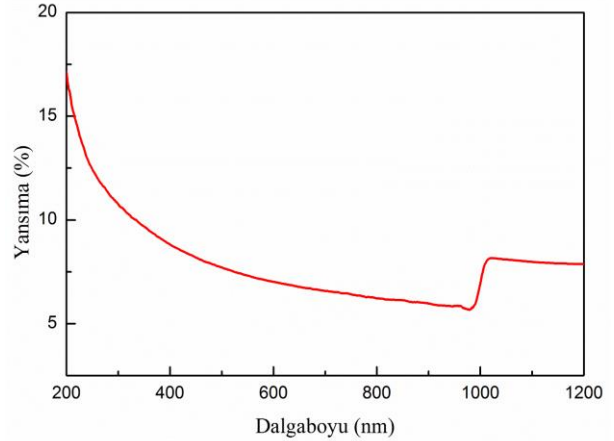
$\alpha$  = soğurma katsayısı

$h\nu$  = foton enerjisi

$E_g$  = Yasak Enerji Aralığı

$n = 1/2$  (direkt geçişler için)

$A$  = sabit' dir.

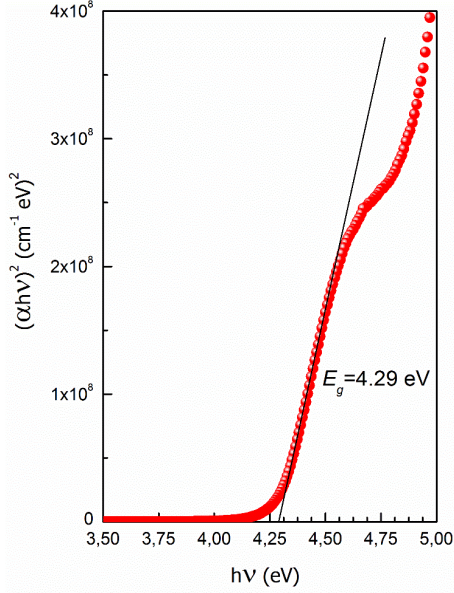


Şekil 4. h-BN numunesinin yansımaya spektrumu.

Hidrotermal metotla hazırlanan h-BN numuneye ait oda sıcaklığında elde edilen optik yansımaya spektrumu Şekil 4' te görülmektedir. Spektrumdan görüldüğü üzere, numunenin yansımaya eğrisi, dalgaboyu arttıkça optik yansımının azaldığını, kısa dalga boylarına kaydıka arttığını göstermektedir. Bu durumun,



fotonların enerjisinin azalmasından dolayı, fotonların elektronlar, atomlar veya kristal molekülleriyle daha az etkileşmesi ve geri yansımının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. h-BN numunesine ait  $(\alpha hv)^2 - hv$  grafiği

Hazırlanan h-BN numunesine ait  $(\alpha hv)^2 - E$  grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir. Elde edilen grafiğin lineer kısmının x eksenini kestiği nokta bulunarak, nano yapıdaki numunenin yasak enerji aralığı hesaplanmış ve  $E_g=4.29$  eV olarak bulunmuştur. Hesaplanmış olan  $E_g$  değeri literatürle birebir uyum göstermektedir[25].

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, başlangıç maddesi olarak kullanılan borik asitten bor oksit tozu elde edilmiş ve elde edilen bu tozun nitrülenmesinden sonra, şekillendirilerek sinterlenmesi sonucu nano boyutlu h-BN üretilmiştir. Bu sentezde, nitrüleme sıcaklığı ve gaz akış hızı h-BN eldesi üzerinde etkili olmuştur. Üretilen numunenin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, birçok özelliği bir arada bulundurması nedeniyle kullanımının her geçen gün arttığı BN ve bor nitrür esaslı ürünlerin ucuz ve kolay bir şekilde üretilebildiği görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma, ülkemiz bor kaynakları ve önemi göz önünde

bulundurulduğunda son yıllardaki ileri teknoloji seramiklerinin gelişmesine ve tamamen dışarıya bağımlılıktan kurtulmanın önünü açacağından büyük öneme sahiptir.

#### 5. Kaynaklar

1. Niedenzu K., (1965). Boron- Nitrogen Compounds, Academic Pres. Inc., *Springer Verlag*, 147-153.
2. Brotherton R.J., (1970). *Progress in Boron Chemistry*, Pergamon Press, California, **2**: 211-311.
3. Pease R. S., (1952). An X-ray Study of Boron Nitride, *Acta Crystall*, **5**: 356- 361.
4. Dreissig D. H., (2002). Synthesis of BN Powders, Doktora tezi, Chemistry Dep. of The University of New Mexico, 295.
5. Materials Handbook for Refractories, (2002). Traditional & Advanced Ceramics, *Ceramic Industry*, January, 26-136.
6. Gmelins Handbook of Inorganic Chemistry, (1988). Boron Compounds BN Special Issue, 8th edition, *Springer Verlag*, 1 -89.
7. Lide B. D. R., (1995). *CRC Handbook of Chemistry and Physics, Student Edition*, 76 th Edition, CRC Press.
8. Geçkinli E., (1992). İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, Sayı: 1454, Teknik Üniversite Matbaası, 126-127.
9. Kawasaki Steel Corporation, (1987). Hexagonal boron nitride having a reduced content of water soluble boron- containing impurities, and process for its production, *European Patent Application*, **7**: 1- 14.
10. Paine R. T. ve Pruss E., (2000). Spherical Boron Nitride Process, System, and Product of Manufacture, *European Patent Application*, EP 1053973 A1: 1- 17.
11. Hagiwara H., Tanji H. ve Tamaki S., (1986). Inorganic Synthetics Containing Boron (BN, B<sub>4</sub>C, LaB<sub>6</sub>) and Their Application, *Ceramic Data Book, Gordon and Beach Science Publisher*, 201- 213.
12. Rudolph S., (2002). Materials Review: Boron Nitride, *American Ceramic Society Bulletin*, August , 81, **8**: 34 -35.
13. Paine R. ve Narula C. K., (1990). 'Synthetic Poutes to Boron Nitride', *Chem. Rev.*, **90**: 73 -91.
14. Lipp A., Shwetz K. A. ve Hunold K., 'Hegzagonal Boron Nitride: (1989). Fabrication, Properties and Applications, *Journal of European Ceramic Society*, **5**: 3-9.
15. Kempfer L., (1990). The Many Faces of Boron Nitride, *Industrial Ceramics*, **3**: 41- 44.

16. Kimura Y., Wakabayashi T., Okada K. Wada T. ve Nishikawa H., (1999). Boron Nitride as a Lubricant Additive, *Wear*, **232**: 199- 206.
17. Saito T. ve Honda F., (2000). Chemical Contribution to Friction Behaviour of Sintered Hexagonal Boron Nitride in Water, *Wear*, **237**: 253 -260.
18. Osborne T. W., (1991). New Application for Boron Nitride Coatings, *Ceramic Industry*, **09**: 55-57.
19. Lelonis D. A., (2003). Boron Nitride Powder- A High Performance Alternative for Solid Lubricants, *GE Advanced Ceramics Teknik Notlari*.
20. Gu, Y.L., Zheng, M.T., Liu, Y.L., Xu, Z.L., (2007). Synthesis and characterization of boron nitride sponges as a novel support for metal nanoparticles, *Journal American Ceramic Soc.*, **90**: 1589–1591.
21. Mendelovici, E., Frost, R.L., Kloprogge, J.T., (2001). Modification of chrysotile surface by organosilanes: An IR- Phoacoustic spectroscopy study, *Journal of Colloid Interface Science*, **238** (2): 273–278.
22. Aydın C., El-Nasser H.M., Yakuphanoglu F., Yahia I.S., A ksoy M., (2011). Nanopowder synthesis of aluminum doped cadmium oxide via sol–gel calcination processing, *Journal of Alloys and Compounds*, **509**: 854–858.
23. Aydın C., Abd El-sadek M.S., Zheng K., Yahia I.S., Yakuphanoglu F., (2013). *Optics and Laser Technology*, **48**: 447–452.
24. Aydın H., Tataroglu A., Al-Ghamdi Ahmed A., Yakuphanoglu F., El-Tantawy Farid, Farooq W.A., (2015). A novel type heterojunction photodiodes formed junctions of Au/LiZnSnO and LiZnSnO/p-Si in series, *Journal of Alloys and Compounds*, **625**: 18-25
25. Ram S. S. Al. (2014). Band gap effects of hexagonal boron nitride using oxygen plasma” *Appl. Phys. Lett.* 104, 163101 *Surface Science*, **350**: 109-114.
26. Aydın C. (2010). Metal oksit katkılı yarı iletken malzemelerin üretilmesi ve karakterizasyonu, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans tezi*, 29.
27. Kimiyasu S., Hitomi H., Takashi S., Yuji H., Hiromi N., Hideaki N., Kenshi M., Koji W. (2010) Thermally conductive composite films of hexagonal boron nitride and polyimide with affinity-enhanced interfaces, *Journal of Materials Chemistry*, **20**: 2749-2752