



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

CdSeS/ZnS Kuantum Nokta Katkılı 5CB Nematik Sıvı Kristalinde Optik Bant Aralıklarının İncelenmesi

Gülşüm KOCAKÜLAH ^{a*}, Kadir GÖKŞEN ^a, Oğuz KÖYSAL ^a

^a Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gulsumkocakulah@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, CdSeS/ZnS alaşım kuantum nokta katkılı 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematik sıvı kristal yapının optik bant aralığı değerleri incelenmiştir. CdSeS/ZnS alaşım kuantum nokta, 5CB nematik sıvı kristal yapı içerisine ağırlıkça % 0,05, % 0,1 ve % 0,15 oranlarında katkılanarak optik bant aralığı değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre kuantum nokta katkılanmasıyla optik bant aralığı değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, CdSeS/ZnS alaşım kuantum nokta yapının sıvı kristal tabanlı cihaz uygulamalarında elektro-optik özellikleri değiştirebilen alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Nematik sıvı kristal; Kuantum nokta; Optik bant aralığı

Investigation of Optical Band Gap of CdSeS/ZnS Quantum Dot Doped 5CB Nematic Liquid Crystals

ABSTRACT

In this study, optical band gap values of 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematic liquid crystal structure doped with CdSeS/ZnS alloyed quantum dots are investigated. The CdSeS/ZnS alloyed quantum dot was doped into the 5CB nematic liquid crystal structure at 0.05, 0.1 and 0.15 % wt/wt and optical band gap values were obtained. According to experimental results, optical band gap values decrease with quantum dot doping. The results show that the CdSeS/ZnS alloyed quantum dots can be alternative materials used in liquid crystal based device applications whose electro-optical properties are able to be easily modified.

Keywords: Nematic liquid crystal; Quantum dot; Optical band gap

I. GİRİŞ

Yarıiletken kuantum noktalar gelişmiş elektrik, optik ve manyetik özellikleri ile son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılan yapılar olarak bilinmektedir. 2-10 nm boyut aralığında birkaç atom veya binlerce atomdan oluşan yarıiletken kuantum noktalar, periyodik cetvelde farklı gruplara ait elementlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır [1]. Yarıiletken kuantum noktaların en önemli özelliği boyutlarındaki değişimine bağlı olarak yasak enerji bant aralıklarının değiştirilebilmesidir [2-4]. Bu özellikleri ile yarıiletken kuantum noktalar; tıpta biyogörüntüleme [5], güneş panelleri [6,7], optoelektronik cihaz teknolojisi [8] vb. pek çok alan için geleceğe yönelik umut vaat edici yapılar olarak görülmektedir.

Günümüzde özellikle ekran teknolojisindeki uygulamaları ile yaygın bir çalışma alanına sahip sıvı kristal yapılar termotropik ve liyotropik olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir. Termotropik sıvı kristaller ara fazların sıcaklık ile oluştuğu, kendi içinde nematik, simetik ve kolesterik olmak üzere üç farklı gruba ayrılan yapılar olarak bilinmektedir. Liyotropik sıvı kristaller ise farklı organik bileşiklerin belirli konsantrasyonlarda bir araya gelmesiyle oluşmaktadır [9].

Sıvı kristaller arasında bilimsel araştırmalarda en çok kullanılan yapı nematik sıvı kristallerdir. Nematik sıvı kristal yapıların moleküler yönelimi dış elektrik, manyetik veya optik alan ile kolay bir şekilde değiştirilebilmektedir [10]. Bu özellikleri nematik sıvı kristal yapıların pek çok optoelektronik cihaz uygulamasında kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Sıvı kristal yapılar farklı nanoparçacıkların katkılanmasıyla sıvı kristal-nanoparçacık kompozit yapıları oluşturulmaktadır. Bu yapıların oluşturulmasında sıvı kristallerin moleküler yönelim yeteneği ve katkılanan nanoparçacığın fiziksel özellikleri son derece önemlidir. Kompozit yapıda kullanılan sıvı kristal ve nanoparçacık arasında meydana gelen moleküler etkileşim mekanizmaları sonucu oluşturulan bu kompozit yapının elektrik, optik ve dielektrik özelliklerinde istenilen düzeyde değişiklikler elde edilebilmektedir [11]. Literatürde; altın nanoparçacıklar [12], gümüş nanoparçacıklar [13], kuantum noktalar [14], boyalar [15], polimerler [16] vb. pek çok nanoparçacık sıvı kristal yapı ile bir araya getirilmiş ve farklı kompozit yapıların oluşumu sağlanmıştır.

Bu çalışmada CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristalin optik bant aralığı değerlerindeki değişim incelenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda kuantum nokta kullanılarak sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapılar oluşturulmuştur. Bu kompozit yapılarda kuantum noktalar ve sıvı kristaller arasında meydana gelen moleküler etkileşim sonucu optik bant aralığı değerlerinde önemli değişimler gözlemlenmiştir.

II. DENEY

Çalışmada, 5CB (4-pentyl-4'-cyanobiphenyl) nematik sıvı kristal ve toluen içerisinde çözülmüş CdSeS/ZnS ($\lambda=665$ nm) kuantum nokta (CdSeS/ZnS QDs) yapısı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sıvı kristal ve kuantum nokta katkısı Sigma Aldrich Chemical Company'den temin edilmiştir. CdSeS/ZnS kuantum nokta ve 5CB nematik sıvı kristal yapının sembolik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



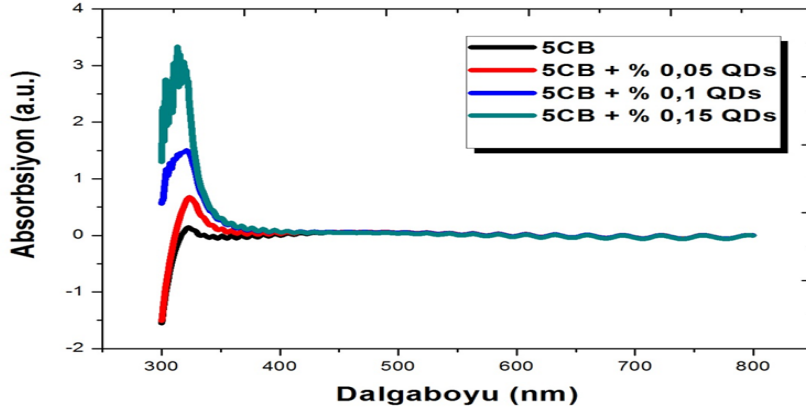
Şekil 1. CdSeS/ZnS kuantum nokta ve 5CB nematik sıvı kristal yapısının sembolik gösterimi

Saf 5CB nematik sıvı kristal, ağırlıkça % 0,05, % 0,1 ve % 0,15 oranlarında CdSeS/ZnS kuantum nokta ile katkılandırılarak üç farklı sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapı hazırlanmıştır. Homojen dağılımın sağlanması için % 0,05, % 0,1 ve % 0,15 CdSeS/ZnS kuantum nokta katkı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapılar 5 saat boyunca 40 °C'de ultrasonik banyoda karıştırılmıştır. Daha sonra kuantum nokta yapısında bulunan toluenin buharlaşması için numuneler 40 °C ısı tablasında 2 saat muameleye maruz bırakılmıştır. Elde edilen numuneler optik ölçümler için 7,7 µm kalınlığında ITO kaplı ölçüm hücrelerine doldurulmuştur. Saf 5CB ve kuantum nokta katkı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapıların optik bant aralığı değerleri (E_g) PG Instruments Ltd marka T70+UV/VIS optik spektrometre cihazı ile elde edilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yarıiletken malzemelerin bant yapısı ve optik bant aralığı değerlerinin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemin temel soğurma (absorbsiyon) spektrumu yöntemi olduğu bilinmektedir. Temel soğurma spektrumu yönteminde, yarıiletken malzeme yapısında bulunan yük taşıyıcılarının üzerlerine düşen elektromanyetik dalgalarla etkileşimleri söz konusudur. Etkileşim sonucu soğurma ile enerji kaybı olmaktadır [17].

Bu çalışmada farklı konsantrasyon değerleri kullanılarak oluşturulan sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapılarının absorpsiyon değerleri 300-800 nm dalga boyu aralığında UV/VIS optik spektrometre cihazı ile ölçülmüştür. Saf 5CB nematik sıvı kristal ve farklı konsantrasyonlarda kuantum nokta içeren 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapılarının absorpsiyon-dalgaboyu grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Saf ve kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapıların Absorbsiyon-Dalgaboyu değişim grafiği

Şekil 2’de 5CB nematik sıvı kristale katkılanan kuantum nokta konsantrasyonunun artışı ile absorpsiyon şiddet değerinin arttığı görülmektedir. Yarıiletken malzemelerin optik bant aralığı değerlerinin bulunmasında grafikten elde edilen absorpsiyon değerleri kullanılmıştır.

Temel soğurma spektrumu yönteminde kullanılan absorpsiyon katsayısı ile optik bant aralığı değeri arasındaki bağıntı [11],

$$\alpha h\nu = (h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

denklemleri ile verilmektedir. Denklemlerde $h\nu$ foton enerjisi, E_g optik bant aralığı, n doğrudan ve dolaylı geçişler için farklı değerlere sahip olan birimsiz bir sabit ve α absorpsiyon katsayısı olarak tanımlanmaktadır ve değeri;

$$\alpha = \frac{2.303 \times A}{d} \quad (2)$$

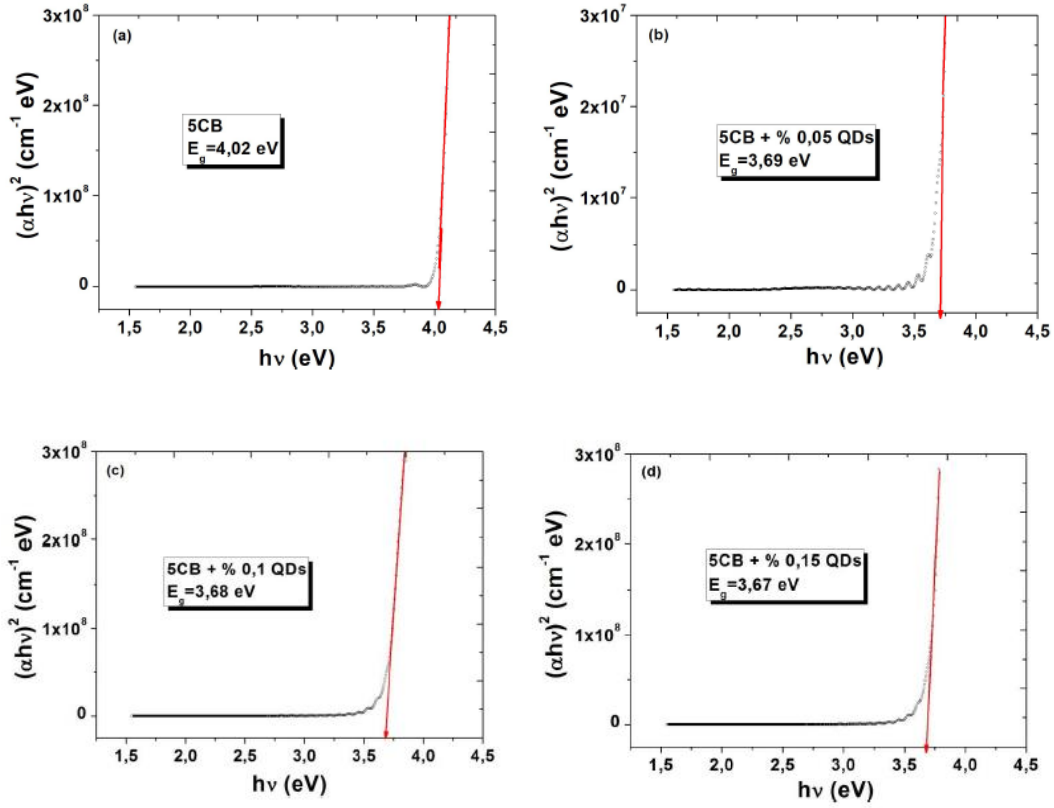
eşitliği kullanılarak bulunmaktadır. Burada A absorpsiyon şiddeti, d ise deneyde kullanılan ölçüm hücresinin kalınlığını göstermektedir.

Temel soğurma spektrumu yönteminde kullanılan (1) denkleminde göre $n=1/2, 2, 3/2$ ve 3 değerlerini alabilmektedir ve bu değerler sırasıyla numunenin doğrudan geçişli, dolaylı geçişli, yasaklı doğrudan geçişli ve yasaklı dolaylı geçişli bant aralığına sahip olacağını belirtmektedir [11,18-20].

Bu çalışmada saf 5CB nematik sıvı kristal ve farklı konsantrasyonlarda kuantum nokta içeren 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapılar için en iyi lineer davranış $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye bağlı grafiklerinden elde edilmiştir. Bu sonuç bize numunelerin doğrudan geçişli bant aralığına sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 3’te doğrudan geçişlerin olduğu bölgelerde lineer doğrular elde edilmiştir ve $(\alpha h\nu)^2 = 0$ eksenini kestiği noktalarda numunelere ait optik bant aralığı değerleri bulunmuştur.

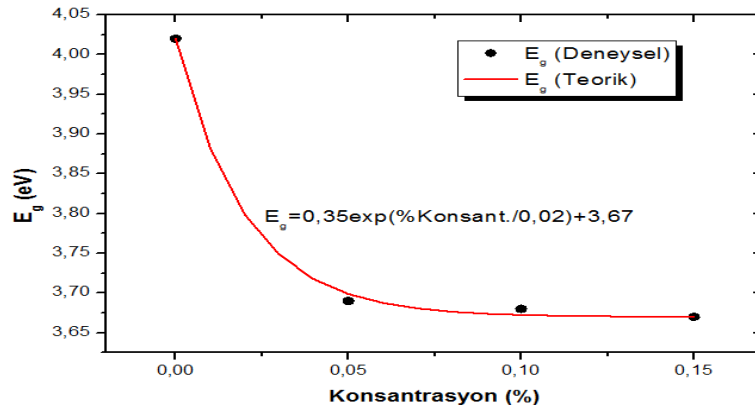
Saf 5CB nematik sıvı kristalin optik bant aralığı değeri 4,02 eV olarak bulunurken, % 0,05, % 0,1 ve % 0,15 oranlarında CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapıların optik bant aralığı değerleri sırasıyla 3,69 eV, 3,68 eV, 3,67 eV olarak bulunmuştur. Kuantum nokta katkısıyla optik bant aralığı değerinin önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Bu değişimin sebebi kuantum nokta

katkılanmasıyla oluşturulan kompozit yapılarda; sıvı kristal-sıvı kristal, kuantum nokta-kuantum nokta ve sıvı kristal-kuantum nokta yapıları arasındaki moleküler etkileşim mekanizmaları ile açıklanabilir.



Şekil 3. Saf ve kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapıların $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye bağlı değişim grafikleri.

Şekil 4'te deneyde kullanılan farklı konsantrasyonlara karşılık gelen saf ve kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapılara ait optik bant aralığı (E_g) değerlerini içeren grafik verilmiştir. Aynı zamanda, Şekil 4'te bu veriler için elde edilen teorik eğri grafiği de verilmiştir. Teorik yaklaşımı ifade eden bu eğri farklı konsantrasyon değerlerinde oluşturulan kompozit yapıların E_g değerlerinin tahmin edilmesine olanak sağlayacak bir araç olarak kullanılabilir.



Şekil 4. Saf ve kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapıların konsantrasyona bağlı optik bant aralığı değişim grafiği ve buna uyduurulan teorik eğri

Oluşturulan sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapıların, gerek kristallerin gerekse kuantum nokta yarıiletken taneciklerin yüksek sarf maliyetleri nedeniyle, deney yapılması mümkün olmayan konsantrasyon değerlerinde sahip olacakları E_g değerleri, uydurulan teorik eğri aracılığı ile rahatlıkla hesaplanabilir. Hesaplanan değerleri göstermek amacı ile Tablo 1 düzenlenmiştir. Bu tablo hem deneyi yapılmamış ara değerler için hesaplanan E_g değerlerini, hem de yüksek konsantrasyona sahip kompozit yapılar için hesaplanan E_g değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. Bazı CdSeS/ZnS % Konsantrasyon değerlerinde elde edilen kompozit yapıların sahip olacağı E_g değerleri

| % Konsantrasyon | E_g (eV) |
|------------------------|----------------------------------|
| 0,01 | 3,88 |
| 0,03 | 3,75 |
| 0,07 | 3,68 |
| 0,09 | 3,67 |
| 0,17 | 3,67 |
| 0,20 | 3,67 |

CdSeS/ZnS kuantum nokta konsantrasyonunun artması ile optik bant aralığı değerinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalışın katkı konsantrasyonu ile daha yavaş bir hal aldığı Şekil 4'teki konsantrasyona bağlı olan grafikten de görülmektedir. Optik bant aralığı değerlerinin azalmasına bağlı olarak oluşturulan kompozit yapıların dielektrik özelliklerinde değişimin olduğu ve elde edilen kompozit yapıların iletkenliğinin arttığı sonucuna ulaşılabilir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada CdSeS/ZnS kuantum nokta katkılı 5CB nematik sıvı kristal kompozit yapılar oluşturulmuş ve optik bant aralığı değerleri incelenmiştir. CdSeS/ZnS kuantum nokta katkısının 5CB nematik sıvı kristal yapının optik bant aralığında oluşturacağı etkiyi gözlemlemek için % 0,05, % 0,1 % 0,15 olmak üzere üç farklı konsantrasyon içeren sıvı kristal-kuantum nokta kompozit yapıları oluşturulmuştur. Saf 5CB nematik sıvı kristal için bulunan optik bant aralığı değeri 4,02 eV iken; % 0,05, % 0,1, % 0,15 kuantum nokta katkılı kompozit yapılarda optik bant aralığı değerleri sırasıyla 3,69 eV, 3,68 eV, 3,67 eV olarak elde edilmiştir. Kuantum nokta konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak optik bant aralığı değerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar sıvı kristal ve fotonik tabanlı çalışan cihazlarda bant yapısının ve optik bant aralığı değerinin katkı oranı ile belirli ölçüde değiştirebileceği konusunda önemli fikirler vermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Mirzaei, M. Reznikov, T. Hegmann “Quantum Dots As Liquid Crystal Dopants,” *Journal of Materials Chemistry*, vol. 22, no. 42, pp. 22350-22365, 2012.
- [2] A. Kumar, A. M. Biradar, “Effect of Cadmium Telluride Quantum Dots on The Dielectric And Electro-Optical Properties Of Ferroelectric Liquid Crystals,” *Physical Review E*, vol. 83, no. 4, pp. 041708, 2011.
- [3] P. K. Tripathi, A. Misra, K. Pandey and R. Manohar, “Study on dielectric and optical properties of ZnO doped nematic liquid crystal in low frequency region,” *Chem. Commun*, vol. 1, pp. 20-26, 2013.
- [4] E. A. Konshina, I. F. Galin and E. O. Gavrish, “Reversible capacitance change of nematic liquid crystal cell doped with semiconductor CdSe/ZnS quantum dots,” *Universal Journal of Materials Science*, vol. 2, no. 1, pp. 1-4, 2014.
- [5] P. Reiss, M. Protiere and L. Li, “Core/shell semiconductor nanocrystals,” *small*, vol. 5, no. 2, pp. 154-168, 2009.
- [6] I. Mora-Sero, S. Giménez, F. Fabregat-Santiago, R. Gómez, Q. Shen, T. Toyoda and J. Bisquert, “Recombination in quantum dot sensitized solar cells,” *Accounts of chemical research*, vol. 42, no. 11, pp. 1848-1857, 2009.
- [7] A. J. Nozik, M. C. Beard, J. M. Luther, M. Law, R. J. Ellingson, J. C. Johnson, “Semiconductor quantum dots and quantum dot arrays and applications of multiple exciton generation to third-generation photovoltaic solar cells,” *Chemical reviews*, vol. 110, no. 11, pp. 6873-6890, 2010.
- [8] B. A. Kairdolf, A. M. Smith, T. H. Stokes, M. D. Wang, A. N. Young and S. Nie, “Semiconductor quantum dots for bioimaging and biodiagnostic applications,” *Annual Review of Analytical Chemistry*, vol. 6, pp. 143-162, 2013.
- [9] O. Köysal, “Azo boya ve fulleren (C_{60}) katkılı nematik sıvı kristallerin elektro-optik özelliklerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2007.
- [10] G. Pathak, S. Pandey, R. Katiyar, A. Srivastava, R. Dabrowski, K. Garbat, R. Manohar “Analysis of photoluminescence, UV absorbance, optical band gap and threshold voltage of TiO₂ nanoparticles dispersed in high birefringence nematic liquid crystal towards its application in display and photovoltaic devices,” *Journal of Luminescence*.
- [11] M. Mishra, R. S. Dabrowski, R. Dhar, “Thermodynamical, optical, electrical and electro-optical studies of a room temperature nematic liquid crystal 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl dispersed with barium titanate nanoparticles” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 213, pp. 247-254, 2016.
- [12] P. R. Supreet, S. Kumar, K. K. Raina, “Effect of dispersion of gold nanoparticles on the optical and electrical properties of discotic liquid crystal,” *Liquid Crystals*, vol. 41, no. 7, pp. 933-939, 2014.

- [13] E. B. Barmatov, D. A. Pebalk, M. V. Barmatova, "Influence of silver nanoparticles on the order parameter of liquid crystalline polymers. *Liquid crystals*," vol. 33, no. 9, pp.059-1063, 2006.
- [14] U. B. Singh, M. B. Pandey, R. Dhar, R. Verma, S. Kumar, "Effect of dispersion of CdSe quantum dots on phase transition, electrical and electro-optical properties of 4PP4OB," *Liquid Crystals*, vol. 43, no. 8, pp. 1075-1082, 2016.
- [15] R. Manohar, S. Manohar, V. S. Chandel, "Dielectric behaviour of pure and dye doped nematic liquid crystal BKS/B07," *Materials Sciences and Applications*, vol. 2, no. 7, pp. 838, 2011.
- [16] S. E. Hicks, S. P. Hurley, Y. C. Yang, D. K. Yang, "Electric Polarization Frozen By A Polymer Network İn Nematic Liquid Crystals *Soft Matter*," vol. 9, no. 14, pp. 3834-3839, 2013.
- [17] S. Ilıcan, Y. Çağlar, M. Çağlar, "CdZnS ve ZnO Yarı iletken Filmlerinin Yasak Enerji Aralıkları. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*," c. 9, s. 1, ss. 48-54,2005.
- [18] H. Kızılcıaoğlu, K. Gökşen, Y. Köysal, "Amorf Hidrojenlenmiş Karbon İnce Filmlerin Yasak Enerji Bant Aralıklarının Optiksel İncelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 1, 2016.
- [19] T. Şimşek, K. Gökşen, "Çeşitli Gaz Akış Hızı Koşullarında Üretilen Hidrojenlenmiş Amorf Karbon İnce Filmlerin Optik Bant Aralıklarının İncelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (Dübited)*, c. 5, s. 1. 2017.
- [20] U. B. Singh, D. Singh, S. Kumar, R. Dhar, M. B. "Pandey The optical properties of quantum dots in anisotropic media. *Journal of Molecular Liquids*," vol. 241, pp.1009-1012, 2017.