

Fotonik Kristallerin Fiziği ve Uygulamaları

Ekmel Özbay, İrfan Bulu, Hümeysra Çağlayan, Koray Aydın, Kaan Güven

Bilkent Üniversitesi, Fizik Bölümü

Bilkent, 06800 Ankara

ozbay@fen.bilkent.edu.tr, irfan@fen.bilkent.edu.tr, caglayan@fen.bilkent.edu.tr, aydin@fen.bilkent.edu.tr,

güven@fen.bilkent.edu.tr

Bu çalışmada, fotonik kristal bant aralığının ve fotonik kristal bant yapılarının uygulamalarını inceledik. Ani ışmanın bir boyutlu silikon-nitrat fotonik kristallerde oluşturulan birleşik kavite dalga kılavuzları ile artırımını inceledik. Fotonik kristallerin bant yapısını kullanarak açısız saçılımı düşük ışık kaynakları oluşturduk. Yine fotonik kristallerin sıra dışı bant yapısının bir uygulaması olarak elektromanyetik dalgaların negatif kırınımını ve odaklanmasını gösterdik.

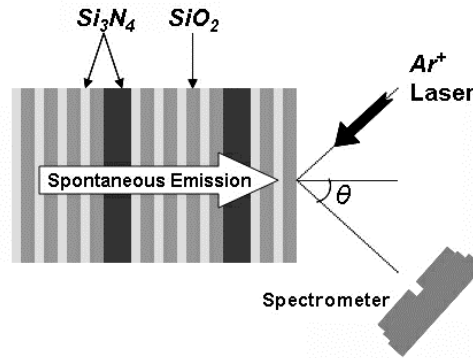
Giriş

Fotonik kristaller dielektrik sabitinin periyodik olarak değiştiği yapılardır. Düzenli değişen dielektrik sabiti elektromanyetik dalgaların belirli yönlerde ve belirli frekans aralıklarında ilerlemesini engeller. Bu bakımdan fotonik kristaller ile yarıiletken kristaller arasında birebir benzerlik kurulabilir. Değişik maddeler ve farklı geometrik parametreler kullanarak ışığın ilerlemesi fotonik kristaller yardımıyla kontrol edilebilir. Son yıllarda fotonik kristaller ve uygulamaları birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Bu uygulamalar arasında dalga kılavuzları, ışmanın artırımı, negatif kırılma, ışığın odaklanması sayılabilir.

Bu yayında son zamanlarda fotonik kristallerin uygulamaları üzerine yaptığımız çalışmaların kısa bir özetini sunduk. Bu uygulamalar bir boyutlu fotonik kristallerde birleşik kavite dalga kılavuzları yardımı ile ışmanın artırımı, iki boyutlu fotonik kristaller kullanarak ışmanın açısız saçılımının azaltılmasını ve elektromanyetik dalgaların negatif kırınımını ile odaklanmasını içermektedir.

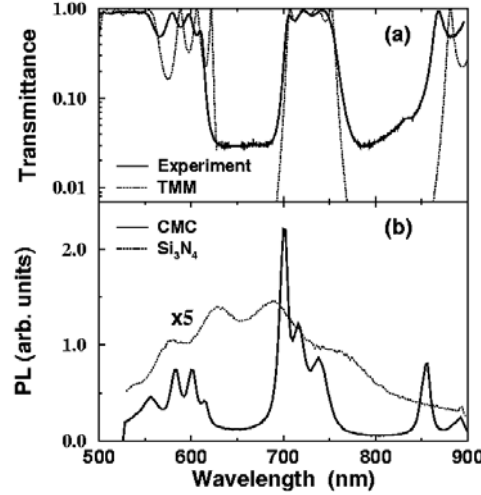
Bir Boyutta Birleşik Fotonik Kristal Kavite Yapıları ve Işımanın artırımı

Işımanın artırımı birçok optik uygulama, örneğin lazerler ve LEDler, için önemli bir konudur. Fermi'nin birinci altın kuralına göre ani ışımaya yerel foton mod yoğunluğuna bağlıdır. Yerel mod yoğunluğu ise foton grup hızı ile ters orantılı olarak değişen bir niceliktir. Fotonik kristal birleşik kavite dalga kılavuzu modlarında grup hızının çok düşük olduğu önerilmiş ve gözlemlenmiştir. Bu nedenle fotonik kristal birleşik kavite dalga kılavuzları ışmanın artırımı için kullanılabilir.



Şekil 1 : Fotonik kristal birleşik kavite dalga kılavuzu yapısı.

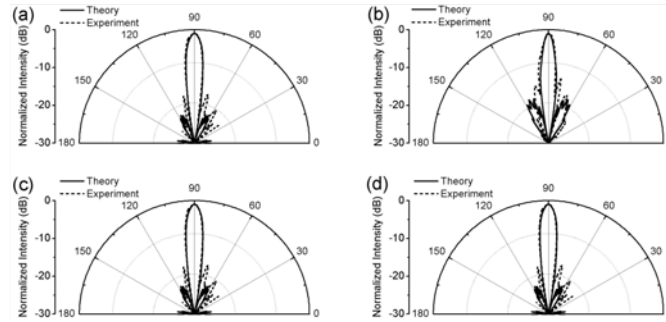
$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ katmanlarından oluşan fotonik kristal yapısı üzerinde $\lambda/2$ kalınlığında SiO_2 katmanları ile birleşik kavite dalga kılavuzu oluşturuldu (şekil 1). Şekil 2a’da iletim özellikleri görülmektedir. 690 nm ile 770 nm dalga boyu aralığında birleşik kavite dalga kılavuzu bandı gözlenmiştir. Bu dalga boyu aralığı civarında yapılan fotoluminesans ölçüm sonuçları şekil 2b’de çizdirilmiştir. Özellikle bant kenarında ışımanın arttığı gözlemlenmiştir. [1]-[2]



Şekil 2 : a) İletim spektrumu. b) Fotoluminesans ölçüm sonuçları.

Açısal Saçılımın Azaltılması

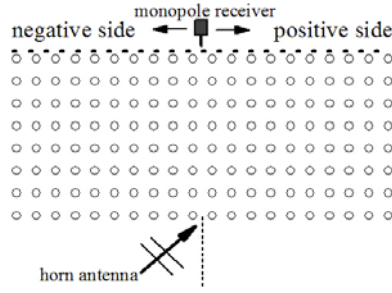
Bu bölümde fotonik kristal içine yerleştirilen elektromanyetik dalga kaynağından yayılan dalgaların açısal dağılımını inceledik. Yapılan teorik çalışmalar göstermiştir ki fotonik kristallerin bant yapısı ışık kaynaklarından yayılan ışımanın belirli frekanslar için dar bir açısal bölgede gerçekleşmesini sağlamak için kullanılabilir. Fotonik kristal içine yerleştirilmiş bir monopol kaynaktan yayılan dalgaların gücünü açıya bağımlı olarak ölçtük. Değişik kristal boyutları ile yaptığımız ölçüm sonuçlarımızı şekil 3’te özetledik. Sonuçlarımız özellikle bant kenarında ışımanın dar bir açısal bölgede gerçekleştiğini göstermektedir. 13.21 GHz’te (bu frekans bant kenarına karşılık gelmektedir) yarım güç genişliği 6° ile 12° olarak ölçülmüştür. [3]-[4]



Şekil 3 : Değişik fotonik kristal büyüklükleri için genliğin açısal dağılımı.

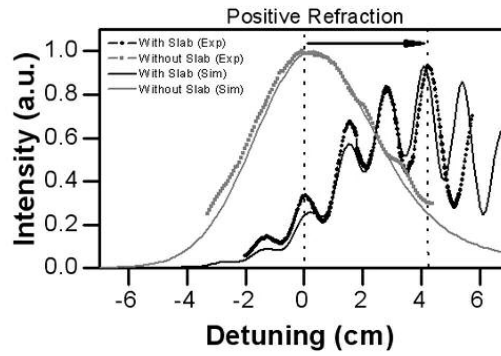
Negatif Kırınım ve Odaklama

Elektromanyetik dalgalar dielektrik bir ortamdan diğerine geçerken dalga vektörünün yüzeye paralel bileşeni korunur. Bu kuralı fotonik kristallere uyguladığımızda bazı eş frekans yüzeyleri için dalganın grup hızı ile dalga vektörünün yüzey normalinin ters taraflarına düşebildiğini gözlemledik. Bu etki dalgaların negatif kırınımına neden olur. Negatif kırınımı gösterebilmek için fotonik kristal yüzeyine belli bir açıyla gelen elektromanyetik dalgaların diğer yüzey boyunca dağılımını ölçtük. Deneyisel düzenek ve kullandığımız metodun ayrıntılarını şekil 4’te bulabilirsiniz.



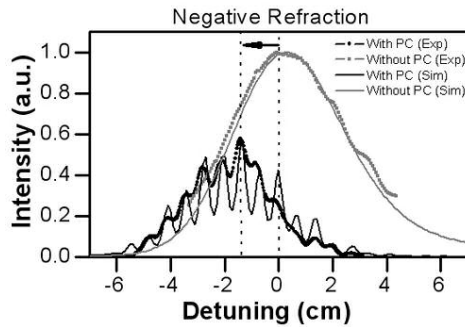
Şekil 4 : Negatif kırınım deney düzeneği.

Negatif kırınımın gerçekleştiği frekanslarda ışığın genliğinin “negatif tarafta” daha yüksek olması beklenir. Yaptığımız teorik hesaplar ağ örgüsü sabiti $a=4.79$ mm olan kristal için $\omega = f/c = 0.2189$ için negatif kırınım gözlemleneceğini gösterdi. Kırınım indisi pozitif olan polystyrene ile yapılan deneylerde bu frekansta dalgaların genliğinin pozitif tarafta negatif tarafa oranla daha yüksek olduğu gözlemlendi.

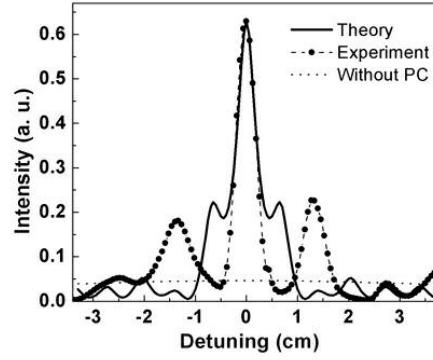


Şekil 5 : Pozitif materyalden dalgaların kırınımı.

Fotonik kristal kullanılarak yapılan deneyde ise genliğin negatif tarafta pozitif tarafa oranla daha yüksek olduğu gözlemlendi (şekil 6). [5]-[6] Negatif kırınım etkisi elektromanyetik dalgaların odaklanmasında kullanılabilir. Fotonik kristalin ön yüzeyine yakın bir noktasal kaynaktan yayılan dalgalarla yapılan deneylerde negatif kırınımın gerçekleştiği frekansta dalgaların yüzeyin diğer tarafında odaklandığını gözlemledik. Deney sonuçlarını şekil 7’de bulabilirsiniz.



Şekil 6 : Fotonik kristalden dalgaların negatif kırınımı.



Şekil 7 : Noktasal kaynaktan yayılan dalgaların fotonik kristal yardımı ile odaklanması.

Sonuç

Bu çalışmada son zamanlarda fotonik kristaller üzerine yaptığımız çalışmaların kısa bir özetini sunduk. Bu çalışmalar ışımının artırımını, elektromanyetik dalga kaynaklarından yayılan dalgaların dar bir açısal bölgede toplanmasını, fotonik kristaller yardımı ile negatif kırınım ve elektromanyetik dalgaların odaklanmasını içermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Bayındır M., Temelkuran B., ve Ozbay E., Phys. Rev. Lett. , 84, s. 2140, 2000.
- [2]. Bayındır M., Temelkuran B., ve Ozbay E., Phys. Rev. B , 61, s. R11855, 2000.
- [3]. Bulu I., Caglayan H., ve Ozbay E., Appl. Phys. Lett., 83, s. 3263, 2003.
- [4]. Bulu I., Caglayan H., ve Ozbay E., Phys. Rev. B, 67, s. 205103, 2003.
- [5]. Cubukcu E., Aydın K., Ozbay E., Foteinopoulou S., ve Soukoulis C. M., Nature, 423, s. 604, 2003.
- [6]. Cubukcu E., Aydın K., Ozbay E., Foteinopoulou S., ve Soukoulis C, Phys. Rev. Lett., 91, s. 207401, 2003.

Ekmel Özbay was born on March 25, 1966 in Ankara, Turkey. He received his B.S. degree in electrical engineering from the Middle East Technical University, Ankara, Turkey. He received his M.S. and Ph. D. degrees from Stanford University in electrical engineering, in 1989 and 1992. During his thesis work, he focused on high speed resonant tunneling and optoelectronic devices.

From 1992-1994, he worked as a scientist in DOE Ames National laboratory in Iowa State University in the area of photonic band gap materials. He joined the faculty of physics department of Bilkent University in December 1994, where he is currently a full professor. His research in Bilkent involves GaN based devices, photonic crystals, and high speed optoelectronics. He is the 1997 recipient of the Adolph Lomb Medal of Optical Society of America. He is currently acting as a topical editor in Optics Letters. He has authored or co-authored more than 160 articles in scientific journals, conference proceedings, and books.

Ekmel Özbay 1966 yılında Ankara Türkiye’de doğdu. Lisans derecesini ODTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünden, Yüksek Lisans ve Doktorasını ise Stanford Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden sırasıyla 1989 ve 1992 yıllarında almıştır. Tez çalışması boyunca yüksek hızlı resonant tünelleme ve optoelektronik aygıtlar üzerine yoğunlaşmıştır.

1992’den 1994’e kadar Iowa State Üniversitesinin DOE Ames Ulusal Labaratuarında, fotonik bant boşluklu materyeller alanında çalışmıştır. Aralık 1994’te şu anda Profesör olduğu Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümüne katılmıştır. Bilkent Üniversitesindeki araştırmaları GaN tabanlı aygıtlar, fotonik kristaller ve yüksek hızlı optoelektronik üzerinedir. 1997 yılında Optical Society of America Adolph Lomb Madalyasını almaya hak kazanmıştır. Optics Letters isimli dergide editörlük yapmaktadır. 160’ın üzerinde bilimsel yayını bulunmaktadır.