

2B Malzemelerde Polariton Destekli Doğrusal Olmayan Optik Yanıt

Fadıl İyikanat

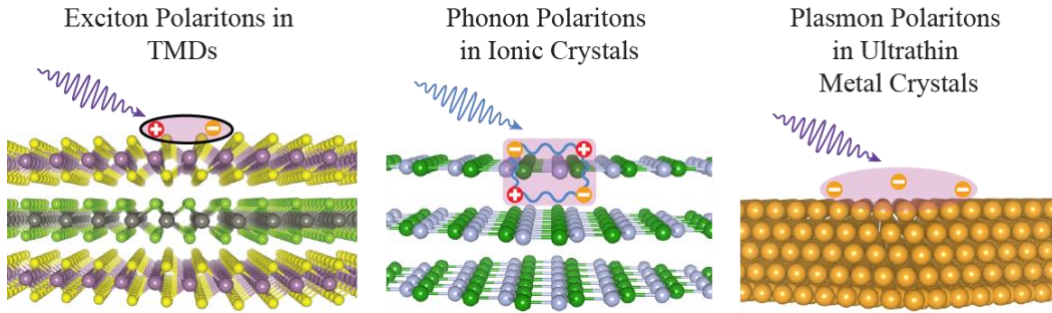
Dokuz Eylül Üniversitesi-Fizik Bölümü, 35160 İzmir

Malzemelerin optik yanıtını belirleyen temel mekanizmaların anlaşılması, düşük ışık şiddeti eşiklerinde dahi belirgin doğrusal olmayan optik yanıt sergileyen sistemlerin tasarlanması ve bu sistemlerin potansiyel uygulamalarının ortaya çıkarılması açısından kritik öneme sahiptir. İki boyutlu (2B) malzemelerde Coulomb perdelemesinin azalması ve kuantum sınırlama etkilerinin güçlenmesi, optik spektrumda belirgin foton–polariton etkileşimi izlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durum, 2B malzemelerde doğrusal olmayan optik yanıtta polaritonik etkilerin rolüne yönelik yoğun bir araştırma ilgisi doğurmuştur [1,2].

Bu konuşmada, 2B malzemelerde doğrusal olmayan optik yanıtın mikroskobik kökenlerini ve polaritonların bu süreçlerdeki belirleyici rolünü tartışacağız [3–5]. İyonik kristallerde fononlar, geçiş metali dikalkojenitlerinde (TMD'ler) eksitonlar ve ultra ince metal kristallerde plazmonlara odaklanarak (bkz. Şekil 1), bu sistemlerdeki ışık–madde etkileşimlerini sistematik olarak inceleyeceğiz. Yoğunluk fonksiyoneli teorisi (DFT) ve DFT ötesi

yöntemler (örneğin GW ve Bethe–Salpeter denklemi) dahil olmak üzere çeşitli ilk-prensipier yaklaşımlarını kullanarak, ele alınan 2B malzemelerin ayrıntılı elektronik, titreşimsel ve optik özelliklerini ortaya koyuyoruz. Ardından, polaritonların ışık ile etkileşimini çeşitli yaklaşımlar altında dikkate alarak sistemin hareket denklemini kuruyoruz. Bu denklemi zaman alanında veya pertürbatif yaklaşımlar çerçevesinde çözerek, ilgili malzemenin doğrusal optik yanıtını ve ikinci ile üçüncü harmonik üretimine karşılık gelen doğrusal olmayan duyarlılıklarını elde ediyoruz.

Özetle, çalışmalarımız polaritonların 2B malzemelerde doğrusal olmayan optik yanıtı belirgin şekilde güçlendirdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, polaritonların geniş bir optik spektrum aralığında doğrusal olmayan optik yanıtın etkin ve ayarlanabilir biçimde kontrolünü mümkün kıldığını ve optoelektronik ile kuantum optiği uygulamaları için önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir.



Şekil 1: Geniş bir 2B malzeme yelpazesi (TMD'ler, iyonik kristaller ve ultra ince metal kristaller dahil) tarafından desteklenen eksiton, fonon ve plazmon polaritonlarının şematik gösterimi. Fotonların bu polaritonlarla etkileşimi; kalınlığın değiştirilmesi veya heteroyapıların oluşturulması gibi çeşitli mekanizmalarla ayarlanabilir. Bu durum, farklı türlerde ultrahızlı süreçlerin ortaya çıkmasına ve doğrusal olmayan optik yanıtın belirgin şekilde güçlenmesine yol açar.

Kaynakça

1. X. Guo et al., "Polaritons in Van der Waals Heterostructures", *Adv. Mater.* **35**, 2201856 (2022).
2. J. Gu et al., "Enhanced nonlinear interaction of polaritons via excitonic Rydberg states in monolayer WSe₂", *Nat. Commun.* **12**, 2269 (2021).
3. F. İyikanat, A. Konečná ve F. J. García de Abajo, "Nonlinear Tunable Vibrational Response in Hexagonal Boron Nitride", *ACS Nano* **15**, 13415–13426 (2021).
4. Y. Wang, F. İyikanat et al., "Optical Control of High-Harmonic Generation at the Atomic Thickness", *Nano Lett.* **22**, 8455–8462 (2022).
5. Á. Rodríguez Echarri, F. İyikanat et al., "Nonlinear Photoluminescence in Gold Thin Films", *ACS Photonics* **10**, 2918–2929 (2023).