

# Ultrahızlı ve Elektro-Optik Kontrol ile Yeniden Yapılandırılabilir Kuantum Plazmonik Sistemler

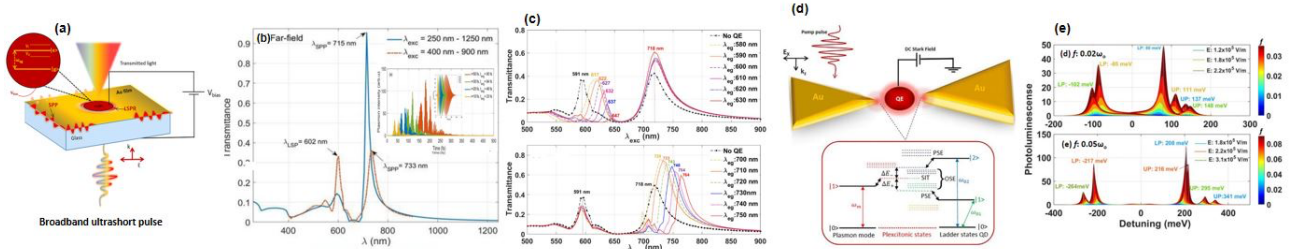
Ramazan Şahin\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Atatürk Üniversitesi, 25240, Erzurum, Türkiye  
<sup>2</sup>Türkiye Ulusal Gözlemevleri, TUG, 07058, Antalya, Türkiye

Görünür dalgaboyu aralığında plazmonik sistemlerin dinamik olarak kontrol edilebilmesi, yeni nesil nanofotonik cihazlar ve kuantum teknolojilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, plazmon-yayıcı etkileşimlerinin hem tamamen optik hem de elektro-optik yöntemlerle kontrolünü bir araya getirerek, optik frekanslarda çalışan kuantum plazmonik sistemler için yeniden yapılandırılabilir ayarlama stratejileri sunulmaktadır.

Ultrakısa lazer darbeleri kullanılarak lokalize ve yayılan plazmon modlarının etkin biçimde uyarılması sağlanmakta ve bu sayede olağanüstü optik geçirgenlik (EOT) üzerinde hem spektral hem de zamansal kontrol gerçekleştirilmektedir. Üç boyutlu FDTD simülasyonları ve kuantum osilatör modellemeleri, darbe süresi ve spektral bant genişliğinin uygun şekilde ayarlanmasıyla EOT şiddetinin üç mertebeye kadar artırılabilirdiğini ve plazmon ömürlerinin yaklaşık 100 fs seviyesine kadar uzatılabilirdiğini göstermektedir. Buna ek olarak, plazmonik nano yapılar voltaj ile ayarlanabilen kuantum yayıcıların entegre edilmesiyle, sabit dalga boylarında geniş bantlı spektral ayarlama sağlanmakta ve EOT sinyallerinde yine üç mertebeye varan modülasyon elde edilmektedir. Kuantum yayıcıların görece uzun ömürlü yapısı, kısa ömürlü doğrusal olmayan plazmon modlarının yaşam süresini yaklaşık 129 fs'ye kadar uzatabilmektedir.

Çalışmanın devamında, optik Stark etkisi kullanılarak hem rezonans dışı hem de rezonans koşullarındaki plazmon-yayıcı etkileşimlerinde pleksitonik modların faz uyumlu kontrolü teorik olarak ortaya konmaktadır. Rezonans dışı durumda, Stark alanı üç seviyeli kuantum yayıcıdaki dejenerasyonu kaldırarak pleksitonik durumları rezonansa yaklaştırmakta ve Stark kaynaklı şeffaflık oluşumuna olanak sağlamaktadır. Ayrıca, küçük Stark kaymaları bile vakum Rabi bölünmesinde belirgin değişimlere (350 meV'ye kadar) yol açarak fotoluminesansın etkin biçimde kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Rezonans durumunda ise optik Stark etkisi, Mollow üçlüsü benzeri yapıların oluşmasına ve girişim temelli kontrol mekanizmalarının ortaya çıkmasına neden olmakta; gözlenen Stark bölünmesi 491 meV seviyesine kadar ulaşabilmektedir.



**Şekil 1:** (a) Nanodelta içine yerleştirilmiş QE ile EOT yapısının şematik diyagramı (b) Ultrakısa darbenin farklı spektral bant genişlikleri için geçirgenlik spektrumları (c) QE'nin farklı seviye aralıkları ( $\lambda_{eg}$ ) için geçirgenlik spektrumları. (d) Au bow-tie nanoanten ve voltaj ayarlanabilir QE'nin hibrit kuantum plazmonik sistemi (e) Zayıf ve güçlü etkileşim rejiminde Stark alanının farklı değerleri için ayar bozma fonksiyonu olarak Stark ayarlı pleksitonların PL spektrumları.

Elde edilen sonuçlar, nanometre ölçeğinde ışığın dinamik olarak kontrol edilmesine yönelik güçlü bir yaklaşım sunmakta ve algılama, görüntüleme ile entegre fotonik uygulamalarında yüksek derecede ayarlanabilir plazmonik sistemlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Sonuçlarımız, nanometre ölçeğinde ışığın dinamik manipülasyonu için dayanaklı stratejiler sunarak, algılama, görüntüleme ve entegre fotonik uygulamalarında ayarlanabilir plazmonik cihazlar için yol açmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüzey Plazmon Rezonansı, Olağandışı Optik Geçirgenlik, Stark etkisi, Kuantum Yayıcı

R.S., TÜBİTAK'ın 121F030 ve 123F156 numaralı projelerinden sağlanan destek için teşekkür etmektedir.

## Kaynakça

- H. Asif, M. E. Tasgin ve R. Sahin, "All-optical control of ultrafast plasmon resonances in the pulse-driven extraordinary optical transmission", J. Opt. 25, 075501 (2023). (Editor's Pick)
- H. Asif, A. Bek, M. E. Tasgin ve R. Sahin, "Voltage-controlled extraordinary optical transmission in the visible regime", Phys. Rev. B. 109, 125425 (2024).
- H. Asif ve R. Sahin, "Stark control of plexcitonic states in incoherent quantum systems", Phys. Rev. A. 110, 023713 (2024).