Sıfır-Yansımalı Optik Metayüzeylerin İyileştirilmesi ve Klinik Adaptasyonu

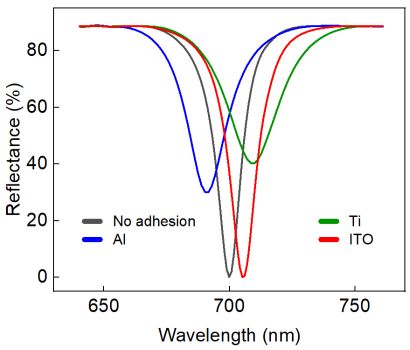
Serap Aksu

Koç Üniversitesi- Fizik Bölümü, 34450 İstanbul

Sıfır yansımalı metayüzeyler sıvı biyopsi temelli diagnostik uygulamalar için gelecek vaat etmektedir. Fakat metayüzeylerin klinik çalışmalara uyarlanmasında belli sorunlar bulunmaktadır. Bu çalışmada belirlediğimiz problemleri analiz ederek çözümler öneriyoruz. Bu doğrultuda, metayüzeyleri minimum optik kayba sahip optimize edilmiş yapışma (adhezyon) katmanları kullanarak üretiyoruz. Modifiye edilmiş lazer litografisi kullanarak bu yüzeylerin geniş alanlı ve homojen nanofabrikasyonunu gerçekleştiriyor ve serum içinde beyin metastazı ile ilişkili biyobelirteçlerin tespitini gösteriyoruz.

Altın ince film kullanan sıfır yansımalı metayüzeyler eşsiz bir algılama hassasiyet sunar ancak "yapışma-optik kayıp" dengesi sorunuyla karşı karşıyadırlar. Titanyum (Ti) gibi geleneksel yapışma katmanları stabiliteyi artırırken optik performansı düşürmektedir. Biz, alüminyumu (Al) hem mekanik stabilite hem de minimum optik kayıp sağlayan en iyi sonuç olarak tanımlıyoruz. Alüminyumun, yapışma katmanı içermeyen altın filmlerle yarışacak düzeyde yakın alan tepkileri sağladığını gösteriyoruz. Optimum yapışma katmanını belirlemek için detaylı bir araştırma gerçekleştirildi. Metayüzeyler, modifiye edilmiş lazer interferans litografisi kullanılarak geniş alanlarda üretilmiştir. Nanoyapıların optik ve metrik homojenliği ölçülmüş ve elektron ışını litografisi (EBL) ile üretilenlerle karşılaştırılmıştır. Son olarak, bu platformun klinik uygunluğunu, beyin metastazı ile ilişkili proteinlerin ultra hassas tespiti ve zorlu çevresel koşullara dayanma yeteneği üzerinden kanıtlayarak; sağlam ve taşınabilir yeni nesil biyosensörlerin yolunu açıyoruz.

Yöntemler: Sıfır yansımalı metayüzeyler, Ansys Lumerical kullanılarak hesaplamalı modelleme yoluyla tasarlanmıştır. Nanofabrikasyon, modifiye edilmiş lazer interferans litografisi [1,2] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alüminyum yapışma katmanlarının kusursuz emilim (perfect absorption) sağlamadaki avantajlarını vurgulamak için nanodisk anten mimarisine dayalı dar bantlı bir metal-yalıtkan-metal (MIM) soğurucu kullanılmıştır [1,2]. Cihaz; 100 nm Au taban düzlemi, 40 nm SiO_2 dielektrik ayırıcı ve 500 µm silikon taban üzerinde yer alan periyodik Au nanodisklerin (periyot: 650 nm; çap: 180 nm; kalınlık: 40 nm) üst katmanından oluşmaktadır. Stabilite ve performansı incelemek için metal-yalıtkan arayüzlerine 2,5 nm ve 5 nm kalınlığında yapışma katmanları entegre edilmiştir.



Şekil 1: 5nm kalınlığında farklı adhezyon malzemelerinin optic kaliteye etkisi gösterilmiştir.

Deneysel sonuçlar, Al'un altın nanodisklerin ve ince filmlerin mekanik stabilitesini artırdığını, su akışı ve 40 kHz sonikasyon gibi zorlu koşullara dayandığını göstermektedir. Ti ile karşılaştırıldığında, Al tabanlı metayüzeyler daha yüksek elektrik yakın alan güçlenmesi sergileyerek yapışma katmanı olmayan yapıların performansına oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bu iyileştirme, Al tabanlı metayüzeylerin en büyük kırılma indisi tabanlı kaymayı (shift) üreterek üstün algılama performansı sergilediği 50 kDa proteinlerin tespiti yoluyla daha da doğrulanmıştır.

Sonuç: Alüminyumun (Al), metayüzey entegrasyonunda geleneksel yapışma malzemesi olan titanyumdan daha iyi performans gösterdiğini deneysel olarak kanıtlıyoruz. Geniş alanlı üretim, metayüzeyler üzerinde merceksiz (lens-free) tespitlere olanak sağlamaktadır. Mühendislik ürünü metayüzeyler kullanılarak, 1 pg/ml kadar düşük konsantrasyonlardaki ilgili biyobelirteçler tespit edilmiştir.

Kaynakça

1. N. Koc, A. Belarouci, E. Oktem, S. Aksu, Objective-Free Ultrasensitive Biosensing on Large-Area Metamaterial Surfaces in the Near-IR. ACS Appl Mater Interfaces 2024, 16(25):32516-32523.
2. F. Ali, S. Aksu, A Narrow-Band Multi-Resonant Metamaterial in Near-IR. Materials 2020, 13(22):5140. https://doi.org/10.3390/ma13225140.