

Integrasi Gold Nanoparticles Pada Shear-Horizontal Surface Acoustic Wave Device dan Multilayered Microwave Ring-Resonator Untuk Aplikasi Reconfigurable LSPR dan Sensor Multifungsi = Integration of Gold Nanoparticles on Shear-Horizontal Surface Acoustic Wave Device and Multilayered Microwave Ring-Resonator for Reconfigurable Localized Surface Plasmon Resonator Spectrum and Multifunctional Sensors

Teguh Firmansyah, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=9999920516927&lokasi=lokal>

Abstrak

Spektrum dari localized surface plasmon resonance (LSPR) yang dapat dikonfigurasi ulang serta teknologi sensor yang memiliki sensitivitas tinggi dengan kemampuan multikinerja sangat diperlukan untuk mendukung Society 5.0. Akan tetapi banyak aplikasi LSPR dengan spektrum yang sulit untuk dikonfigurasi/tuning serta sensor yang tidak sensitive dan mono fungsi. Pada disertasi ini diusulkan pengembangan spektrum LSPR yang dapat dikonfigurasi serta dilanjutkan untuk mengembangkan sensor yang memiliki kemampuan multifungsi. Kontribusi penelitian yang dilakukan ini dapat dibedakan menjadi tiga buah cabang utama. Pertama, pengembangan reconfigurable LSPR spektrum dengan mendeposisi nano partikel emas (AuNPs) pada substrat piezoelektrik 36XY-LiTaO₃. Kedua, hasil deposisi AuNPs pada bahan piezoelektrik digunakan untuk menghasilkan sensor multifungsi yang mengintegrasikan sensor shear-horizontal surface acoustic waves (SAW) dan sensor LSPR. Ketiga, mendeposisi AuNPs pada substrat kaca yang memiliki struktur multi-layer. Selain itu, pada substrat kaca juga dipabrikasi microwave ring resonator sehingga menghasilkan sensor microwave, sehingga dapat mengkombinasi sensor microwave dan sensor LSPR secara bersamaan. Adapun penjelasan lebih terperinci sebagai berikut ini.

Kontribusi pertama dari disertasi ini difokuskan kepada pengembangan reconfigurable LSPR spektrum. Dimana LSPR dihasilkan dari deposisi AuNPs pada substrat piezoelektrik 36XY-LiTaO₃. Kemudian, kemampuan reconfigure nya didapatkan dari posisi dinamis dari array AuNPs yang ikut beresilasi akibat vibrasi dari shear horizontal surface acoustic waves (SH-SAWs). Vibrasi ini diperoleh setelah mencatu sumber listrik ke devais SH-SAW melalui interdigital transducers (IDTs). Hasil eksperimen mengkonfirmasi bahwa perbandingan kondisi OFF dan ON akan menghasilkan efek blue-shift dan perubahan nilai Q-factor dari spektrum LSPR. Selanjutnya, hasil gambar morfologi dari SEM digunakan untuk menganalisis dan mensimulasi menggunakan komputasi finite-difference time-domain (FDTD). Model nya kemudian diekspansi menjadi struktur dimer-AuNP, dan array AuNPs dengan menggunakan gap sebagai parameter. Hasil simulasi juga mengkonfirmasi efek dari blue-shift dari spektrum LSPR.

Kontribusi kedua dari disertasi ini yaitu diusulkan pengembangan sensor multifungsi yang dapat mendeteksi permittivitas (ϵ), konduktivitas (σ), dan refraktiv index (n) secara simultan. Sensor multifungsi yang diusulkan, dibangun dengan mengintegrasikan sensor SH-SAW dan sensor LSPR. Sensor SH-SAW dibangun dengan cara memfabrikasi IDTs pada substrat piezoelektrik 36XY-LiTaO₃. Sementara itu, sensor LSPR dibangun dengan mendeposisi AuNPs pada permukaan propagasi dari SH-SAW. Menariknya,

mendeposisi AuNP di permukaan propagasi SH-SAW tidak hanya menghasilkan sensor LSPR namun juga dapat meningkatkan sensitivitas sensor SH-SAW. Peningkatan sensitivitas ini terverifikasi menggunakan pengukuran domain frekuensi oleh a vector network analyzer (VNA) dan domain waktu dengan mengaplikasikan sinyal amplitude shift keying. Sementara itu, software CST digunakan untuk mensimulasikan plasmonic enhance near field-nya. Kemudian investigasi morfologi digunakan perangkat atomic force microscopy (AFM). Hybrid sensor yang diusulkan memiliki rentang deteksi $r = 25 - 85$, $s = 0.00528 - 0.02504$ S/m, dan $n = 45.5 - 201.9$ nm/RIU. Efek cross-sectional dari sensor SH-SAW ke sensor LSPR dan sebaliknya juga diinvestigasi menggunakan sinyal sinusoidal OFF/ON dan cahaya OFF/ON. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor SH-SAW tidak terpengaruh oleh cahaya. Akan tetapi, sensor LSPR sedikit dipengaruhi oleh sensor SH-SAW karena efek vibrasi yang berakibat pada efek blue-shift. Namun pengaruh ini tidak signifikan terhadap kinerja sensor multifungsi. Secara umum, sensor yang diusulkan memiliki sensitivitas tinggi dengan karakteristik independen.

Kontribusi ketiga dari penelitian ini fokus kepada integrasi microwave sensor (dan LSPR sensor. Microwave sensor dihasilkan dengan memfabrikasi elektroda/resonator yang berbentuk ring resonator pada substrat kaca dengan struktur yang multilayer. Sehingga, apabila sensor tersebut diberi beban cairan Ethanol (EtOH) dengan kadar berbeda maka akan menghasilkan pergeseran frekuensi resonansi dari microwave sensor. Sementara itu, sensor LSPR dihasilkan dengan mendeposisi AuNPs pada substrate kaca bagian tengah. Perubahan nilai refractive index pada cairan sampel juga akan menghasilkan pergeseran puncak dari LSPR. Hal ini memperlihatkan sensor LSPR telah bekerja. Selain itu, untuk menganalisis struktur multilayer, pada penelitian ini juga dipergunakan metode conformal dan dibandingkan dengan hasil FDTD. Adapun hasil penelitian hibrid microwave sensor dan LSPR sensor dihasilkan pergeseran frekuensi sebesar 416 MHz dengan sensitivitas 5,2 MHz/. Nilai sensitivitas berada pada rentang 5.36 MHz/Er - 14.37 MHz/Er. Nilai rentang normalisasi sensitivity berada pada rentang 0.312 - 1.246%. Hasil pengukuran dengan dan tanpa cahaya memperlihatkan hasil yang konstan, sehingga memperlihatkan independensi dari sensor. Sementara itu, hasil pengukuran sensor LSPR memperlihatkan terjadi pergeseran panjang gelombang sekitar 20 nm sampai 60 nm. Sementara itu nilai sensitivitas sensor refractive index berada pada rentang 20.0 - 162.6 nm/RIU.

Akhirnya, berdasarkan hasil dan sebagai temuan utama, deposisi AuNPs pada bahan dielektrik seperti bahan 36XY-LiTaO₃ atau bahan kaca dapat meningkatkan fungsionalitas perangkat diluar fungsi dasar umum yang diketahui. Secara khusus, fungsionalitas perangkat dapat ditambahkan dengan fenomena plasmonik atau fungsi sensor indeks bias.

.....A reconfigurable localized surface plasmon resonance (LSPR) spectrum and integration of high-sensitivity sensors with multiple sensing performance for the environmental detection are required to support Societies 5.0 and strengthen sustainable development goals programs. However, many LSPR applications lack configurability performance and sensors with low sensitivity that stand alone. In this dissertation, a reconfigurable LSPR and multifunctional sensors are proposed. The main study can be separated into three branches. The first is a deposition of gold nanoparticles (AuNPs) on 36XY-LiTaO₃ piezoelectric substrate. It can generate a reconfigurable LSPR. Second, it can be applied for multifunctional sensor applications by combining the LSPR sensor and acoustic sensor. The third is to deposit AuNPs on a glass substrate with a multilayered microwave ring resonator to obtain multifunctional sensors between the LSPR sensor and microwave sensor (MS).

The first contribution of this dissertation is focused on the investigation of LSPR with reconfigurable capability. The LSPR was produced by deposition of AuNPs on the 36XY-LiTaO₃ piezoelectric substrate. Then, the reconfigurable capability was obtained by the dynamic array AuNPs position. Moreover, the dynamic array AuNPs was induced by shear horizontal surface acoustic waves (SH-SAWs) vibration after applying an electric signal through interdigital transducers (IDTs), the ON-condition. The experimental results confirmed that compared to OFF-condition, the ON-condition generates a blueshift effect. In general, the peak position (IP) has shifted to a lower wavelength with a quality factor adjustment. The scanning electron microscope (SEM) images of the morphological structure of AuNPs are utilized to perform the finite-difference time-domain (FDTD) analysis. Then, the model was expanded to dimer AuNPs and arrays AuNPs with dynamic coupling gap and variation arrays structures. As a result, the FDTD simulation confirmed a blueshift effect spectrum characteristic.

The second contribution is proposing a multifunctional sensor for the detection of permittivity (ϵ), conductivity (σ), and the refractive index (n) simultaneously. The multifunctional sensor was developed based on the SH-SAW sensor and LSPR sensor. Moreover, the IDTs were fabricated on the 36XY-LiTaO₃ substrate to develop the SH-SAW sensor. Then, the AuNPs were deposited on the propagation surface of the SH-SAW sensor to obtain the LSPR sensor. Interestingly, the deposited AuNPs on SH-SAW were not only generating an LSPR sensor but also enhanced the SH-SAW sensor sensitivity. The sensitivity enhancement was verified by frequency-domain measurement using a vector network analyzer and time-domain measurements by utilizing amplitude shift keying signal. A CST software was used for plasmonic enhance near field simulation. Then, atomic force microscopy (AFM) imaging was utilized for morphology characterization. The proposed sensor has detection range of $\epsilon = 25 - 85$, $\sigma = 0.00528 - 0.02504$ S/m, and high sensitivity for n detection (45.5–201.9 nm/RIU). The cross-sectional effects between the SH-SAW sensor and LSPR sensor were also investigated using the sine signal OFF/ON and the light OFF/ON, respectively. The result shows that the SH-SAW sensor was not influenced by light. Moreover, the LSPR sensor was slightly influenced by the SH-SAW sensor due to the vibration effect, and it has a small blueshift effect. However, this effect is not significant to interference sensor performance. In general, the proposed multifunctional sensors have high sensitivity with independent characteristics.

The third contribution is focused on the integration of MS and LSPR sensor. The MS was fabricated on a glass. The electrodes have a structure ring resonator with a multilayered configuration. The changes of liquid under test lead to frequency shifting. Then, the LSPR sensor was developed on the low-layered glass by deposition array AuNPs on the glass substrate. Therefore, the liquid under test will have direct interaction with AuNPs. LSPR sensor was examined using wavelength shifting characteristic. A comparison between FDTD and the conformal analytical method is also presented. The simulation result shows that by comparing air and water sample, it has shifted frequency of 395 MHz with the sensitivity of 4.95 MHz/r. Measurement result show that it has shifted frequency of 416 MHz with the sensitivity of 5.2 MHz/r. It is shown that the proposed sensor has followed the simulation result. Finally, the proposed sensors are suitable for a chemical environment, with the possibility of integration with a wireless network.

Finally, based on the result and as the main finding, the deposition AuNPs on dielectric material such as 36XY-LiTaO₃ substrate or glass substrate can improve the device's functionality beyond the known general basic function. In particular, the functionality of the device can add with plasmonic phenomena or a refractive index sensor function.