

Peningkatan Kinerja Bolometer Terkopel Antena di Frekuensi Terahertz Melalui Kombinasi Antena dan Heater dengan Resistansi Tinggi = Performance Improvement of Terahertz Antenna-coupled Bolometer by Combination of High-Resistance Antenna and Heater

Arie Pangesti Aji, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=9999920526429&lokasi=lokal>

Abstrak

Spektrum frekuensi Terahertz (THz) dari 0,1 THz hingga 30 THz merupakan wilayah peralihan dari teknologi radio-elektronik menuju fotonik. Pada frekuensi di sekitar 1 THz, getaran antar molekul pada beberapa molekul kimia membentuk karakteristik unik yang dikenal sebagai “fingerprints” THz. Fitur unik ini telah mendorong ketertarikan para peneliti untuk mengembangkan beragam aplikasi seperti komunikasi nirkabel, pengujian yang tidak merusak, inspeksi air dan makanan, deteksi penyakit kanker, dan penginderaan jarak jauh untuk prakiraan cuaca. Namun demikian, dikarenakan terbatasnya ketersediaan perangkat detektor dengan sensitivitas tinggi, dibutuhkan penelitian mengenai peningkatan kinerja perangkat detektor THz. Detektor berbasis thermal memiliki keunggulan pada ketergantungan yang rendah terhadap panjang gelombang, berbiaya rendah, dan kemampuan untuk beroperasi pada suhu ruangan. Bolometer adalah salah satu jenis detektor berbasis thermal dimana radiasi gelombang elektromagnetik menyebabkan perubahan suhu dan nilai resistansi pada material penyusunnya. Sebuah desain baru mikrobolometer terkopel antena THz yang terdiri dari antena berbahan emas dan heater/thermistor berbahan titanium dengan struktur menggantung di atas rongga udara pada substrat silikon dioksida telah dipelajari. Pada penelitian ini, peningkatan performa lanjut pada mikrobolometer terkopel antena telah berhasil dilakukan melalui peningkatan resistansi elektrik pada struktur heater. Optimalisasi aliran daya antara antena dan heater dilakukan melalui rancangan antena dipol terlipat (folded dipole antenna/FDA) dengan impedansi masukan yang tinggi. Dari hasil studi parametrik melalui simulasi elektromagnetik terhadap parameter geometris FDA didapatkan desain antena yang optimal dengan jumlah lengan antena sebanyak 3, lebar antena 1 m, dan jarak antar lengan sebesar 4 m. Desain tersebut memiliki keunggulan pada impedansi masukan yang tinggi dan efisiensi penyerapan yang optimal di frekuensi 1 THz. Selanjutnya, mikrobolometer terkopel antena difabrikasi menggunakan teknik electron beam lithography (EBL) di atas substrat silikon dioksida. Hasil karakterisasi secara elektrik dengan sumber arus DC menunjukkan peningkatan kinerja responsivitas dan NEP dengan faktor 2,5 kali sebagai efek peningkatan resistansi heater dari 92 ke 16 k. Hasil karakterisasi secara optik dengan sumber gelombang elektromagnetik 1 THz menunjukkan mikrobolometer terkopel FDA dengan resistansi heater 586 dapat meningkatkan responsivitas dan menekan NEP dengan faktor 1,6 kali dibandingkan dengan mikrobolometer terkopel antena dipol setengah panjang gelombang dengan resistansi heater 92. Hasil pengukuran optik juga menunjukkan aliran daya efektif dapat dihasilkan dari kesesuaian impedansi antara antena dan heater. Lebih lanjut, analisis terhadap parameter thermal dilakukan melalui pemodelan dengan rangkaian thermal pada struktur mikrobolometer terdiri dari kontribusi heater, antena, dan bagian lain dari mikrobolometer seperti lapisan SiO₂ dan thermistor. Model yang diusulkan dapat menghasilkan nilai resistansi thermal, responsivitas, dan NEP yang mendekati dengan hasil pengukuran elektrik, dan juga dapat secara kualitatif menunjukkan pengaruh kesesuaian impedansi terhadap responsivitas dan NEP optik pada resistansi heater yang berbeda-beda di kedua tipe antena yang diteliti.

Dari hasil simulasi, fabrikasi, pengukuran, dan analisis berbasis thermal yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi antara struktur bolometer dengan resistansi heater yang tinggi dan antenna dengan impedansi tinggi dapat mengoptimalkan aliran daya dari antenna menuju heater dan meningkatkan kinerja responsivitas dan NEP pada bolometer terkopel antenna. Detektor THz yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kelebihan pada responsivitas maksimum sebesar 881 V/W yang lebih tinggi dibandingkan dengan detektor lain dengan material berbasis logam untuk sebuah elemen tunggal. Kinerja NEP terendah didapatkan sebesar 39 pW/Hz^{1/2} dan dapat ditekan lebih rendah melalui perbaikan kondisi rugi-rugi di lingkungan pengukuran untuk perbaikan kinerja di masa mendatang. Dari nilai responsivitas dan NEP tersebut, detektor THz yang diusulkan memiliki prospek untuk diterapkan pada aplikasi pencitraan pasif seperti deteksi benda tersembunyi untuk sistem keamanan, maupun aplikasi pencitraan biomedis seperti sistem pendeteksi kanker.

.....Terahertz (THz) frequency spectrum from 0.1 THz to 30 THz is the transition region from the radio-electronics to photonics. In the frequency range around 1 THz, the intermolecular vibration of prevalent molecules and chemicals formed a unique absorption characteristics known as the THz fingerprints. This distinctive feature has aroused great interest among many scientists to develop numerous THz applications such as the next generation high-speed wireless communication, non-destructive testing, food and water inspection, cancer detection, and remote sensing for weather forecast. However, the lack of available high-sensitivity detectors have triggered the research on performance improvement of THz detectors. Among several types of THz detector, thermal based detector is favorable due to the small wavelength dependency, low cost, and room-temperature operation. Bolometer is a kind of thermal detectors where the absorbed electromagnetic radiation causes a change in the temperature and resistance of the material. A novel THz antenna-coupled microbolometer comprising of gold antenna and titanium heater/thermistor suspended above air cavity on silicon dioxide substrate has been studied. In this study, a further enhancement in the antenna-coupled microbolometer has been successfully attempted by enhancement of heater resistance. The power transfer between antenna to the heater is optimized by introducing the folded-dipole antenna (FDA) with a high-impedance characteristics. From the parametric study results of the FDA geometries, an optimum design is proposed with number of arms of 3, antenna width of 1 μ m, and arm spacing of 4 μ m. The proposed design has the advantage of high input impedance and optimum absorption efficiency at the frequency of 1 THz. Furthermore, the proposed FDA-coupled microbolometer design is fabricated by the electron beam lithography (EBL) technique. From the electrical characterization results using DC current, the responsivity and NEP can be enhanced by a factor of 2.5 as a result of heater resistance increase from 92 to 16 k. From the optical characterization results using 1 THz radiation, the FDA-coupled microbolometer with 586 heater resistance could improve the responsivity and reduce the NEP by the factor of 1.6 compared to the halfwave dipole antenna-coupled microbolometer with 92 heater resistance. The optical characterization results also reveal the optimum power transfer between antenna and heater through proper impedance matching. Moreover, analysis of the thermal parameter is attempted through the modeling of parallel circuit consisting of the contribution of heater, antenna, and other part of the bolometer such as SiO₂ and thermistor. The proposed model could produce the thermal resistance, responsivity, and NEP which close to the measured electrical measurements and qualitatively show the effect of the impedance matching to the optical responsivity and NEP in multiple heater resistances on both type of antenna under study. From the simulation, fabrication, measurement, and thermal based analysis, it is concluded that the combination of bolometer structure with high heater resistance and high-impedance antenna could optimize the power

transfer from the antenna to the heater and improve the responsivity and NEP performances in the antenna-coupled bolometer. The proposed THz detector has the advantage of high responsivity up to 881 V/W which is higher compared to the other metal-based detector in a single pixel structure. As for the NEP performance has the lowest value of 39 pW/Hz^{1/2} and could be further reduced by proper measurement condition for the future performance improvement. From the obtained responsivity and NEP values, the proposed THz detector has the prospect to be applied in passive imaging application such as detection of hidden object in a security system, or biomedical imaging for cancer detection.