University of Mosul

College of Engineering

Design, Simulation and Characterization of Integrated Antenna-Diode for Energy Collection

PhD Thesis Submitted by

Abdulalem Abdulfatah Rasheed

To

The Council of College of Electrical Engineering

University of Mosul

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Doctor of Philosophy

In Electrical Engineering/ Electronics - Solid State

Supervised by

Professor

Dr. Khalil Hassan Sayidmarie

Professor

Dr. Khalid Khalil Mohammed

1441 A.H.

2020 A.D.

Abstract

The surface Plasmons (SPs) are quantized charge density oscillations that occur when incident electromagnetic field interacts with the free electrons in the dispersive metals at the interface between a metal and a dielectric. The excellent merits of SP allow localized field enhancement that can be utilized to concentrate light into a confined region achieving more jumps in solar cells and photodetectors performance. In the past decade, several theoretical and experimental works of (SPs) have been reported to develop optical devices.

Among all plasmonic photodetectors, the Schottky diode, composed of nanoantennas with Gallium Arsenide (GaAs) (metal/semiconductor interface), has attractive features due to its simple structure and high speed. For example, the Metal Insulator Metal (MIM) with nanoantenna plasmonic structure interacts with the incident light wavelength, where the Schottky plasmonic structure, which depends on the localized surface plasmon, interacts with subwavelength that allows potentially higher speed than other plasmonic photodetectors.

Elliptical nanoantennas (ENAs) using Gallium Arsenide (GaAs) substrate are studied to tune the optical response to match the Near Infrared (NIR) band. The resonance wavelength, bandwidth of plasmonic resonance, and normal field enhancement, are tailored by controlling the size and aspect ratio of the elliptical patches. The obtained results are compared with those for other shapes such as circular nanodisk and ring nanoparticle antennas. The use of Silver and gold metals in nanoantennas are also studied aiming to enhance the electric field, where the Lorentz-Drude model of metals are considered. The surfaces plasmon is demonstrated by comparing with the case of perfect electric conductor version of silver and gold nanoantennas. The

obtained results showed that the designed nanoantennas could offer good enhancement in the performance of photodetectors and solar cells.

A nanostructure formed of an array whose elements are in the form of a 3X3 cluster of metal rings having the same outer diameter but with various inner diameters is proposed. Thus, each ring size resonates at a certain wavelength and the result of the cluster arrangement is staggered responses that possess larger bandwidth. In addition, different plasmonic metals of gold, aluminum, and perfect electric conductor (PEC) of ring nanoantennas are analyzed to investigate the metal type effect on localized field enhancement. Simulations using the periodic unit cell approach by the CST microwave studio suite showed that the average absorbed power in an amorphous silicon layer has been improved compared to that without rings. In addition, the obtained response covers the wavelength range from 800nm to 1500 nm.

Several new structures of nanoantennas are proposed, where various forms and sizes of nanoantennas structures are investigated in order to obtain wide bandwidth and to tailor the structure absorption response to match the irradiance spectrum of the sun in the region of NIR spectrum. For each type of the suggested structures, the sizes of nanoantenna elements have been engineered and the nanoantennas are arranged in order to produce higher localized field enhancement which results in better harvesting of the incident power. At the same time, the resonance wavelength of each nanoantenna is adjusted to control the structure response at the required region of the NIR spectrum and then the enhancement of the absorbed power in the a-Si (photoactive layer of the solar cells) is accomplished. Also, the silver and gold plasmonic metals are investigated to understand which one has the best performance, especially at the NIR region.

الخلاصة

البلازمون السطحي هو حركة الالكترونات الحرة التي تحدث في بعض المعادن بشكل متزامن مع تردد الضوء الساقط بحيث تولد تردد رنين معين يعتمد على حجم الهوائي النانوي ونوع المعدن المستخدم ونوع المادة المحيطة بالهوائي. تؤدي هذه الخاصية الى توليد البلازمون السطحي الموقعي الذي يولد فيضاً حول حدود الهوائي النانوي والذي بدوره يؤدي الى زيادة امتصاص طاقة الضوء في طبقة الاساس. هذه الخواص يمكن استغلالها في الحصول على طفرات في أداء الكواشف الضوئية والخلايا الشمسية. في هذه الاطروحة تم اقتراح وتصميم اشكال مختلفة من الهوائيات النانوية لتعزيز امتصاص الضوء الساقط وزيادة كفاءة جمع الطاقة في طبقة الاساس.

تم تصميم وتحليل بنية مكونة من الهوائي النانوي مع طبقة الكاليوم ارسنايد الذي يسمى بثنائي شوتكي حيث اظهر هذا التركيب نتائج جيدة نتيجة سرعته العالية وبساطة تشكيله. الثنائي الاعتيادي المكون من معدن-عازل-معدن والمرتبط مع الهوائي النانوي يتعامل مع طول موجة الهوائي، بينما مركب شوتكي المقترح الذي يعتمد على البلازمون السطحي المحلي يتعامل مع اجزاء الطول الموجي للهوائي النانوي ويعمل في المنطقة تحت الحمراء القريبة من المنطقة المرئية بذلك أصبح يعمل بسرعه اعلى بالمقارنة مع الكواشف النانوية الاخرى. اظهر الهوائي النانوي ذو الشكل البيضوي امكانية توليف عالية مع منطقة الطيف المرغوبة من خلال تغيير حجمه وتغيير النسبة بين قطريه. قورنت النتائج التي تم الحصول عليها مع الشكل الدائري والشكل الحلقي للهوائي النانوي. كذلك تم مقارنة نتائج المعدنين الذهب والفضة وذلك للحصول على قيمة عالية لتعزيز الفيض في طبقة الكاليوم ارسنايد حيث الموديل الذي تم استخدامه في التحليل يعود ل لورنتز درود (Lorentz-Drude). اظهرت نتائج التحليل للهوائيات النانوية التي تم تصميمها بانها يمكن ان تضيف تطوير كبير في مجال الكواشف الضوئية والخلايا الشمسية.

تم تصميم بنية اخرى مكونة من مصفوفة هوائيات نانوية حلقية *3X3* حيث تم تثبيت القطر الخارجي مع تغيير القطر الداخلي، بذلك تم تغطية مدى أوسع من الطول الموجي-*(800nm 1500nm)* حيث كل هوائي يعمل بتردد رنين معين في منطقة الاشعة تحت الحمراء القريبة من المنطقة المرئية. كذلك تم استخدام عدة معادن بلازمونية وهي الذهب والفضة والالمنيوم للحصول على اعلى قيمة تركيز لفيض الضوء الساقط في طبقة من السليكون اللابلوري (*amorphus*) ومقارنة النتائج مع المعدن التوصيلي الاعتيادي. اجريت التحليلات باستخدام برنامج سي اس تي وذلك بتطبيق وحدة الخلية المتكررة. أظهرت النتائج بأن معدل امتصاص الطاقة في طبقة السليكون اللابللوري (السليكون العشوائي الترتيب) قد ازدادت بالمقارنة مع حالة عدم وجود الهوائيات النانوية، اضافة الى زيادة عرض حزمة العمل. اجريت التحليلات باستخدام برنامج سي اس تي وذلك بتطبيق وحدة الخلية

المتكررة . أظهرت النتائج بأن معدل امتصاص الطاقة في طبقة السليكون اللابلوري قد ازدادت بالمقارنة مع حالة عدم وجود الهوائيات النانوية، اضافة الى زيادة عرض حزمة العمل.

تم اقتراح بنى اخرى من الهوائيات النانوية مع طبقة السليكون اللابلوري حيث تم اقتراح تصاميم هوائيات ذات اشكال واحجام مختلفة ثم تم تحليلها للحصول على عرض حزمة واسع *(800nm – 1800nm)*. اضافة الى ذلك تم هندسة مناطق الامتصاص بتغيير حجم وشكل الهوائيات النانوية لكي تعمل هذه البنية في المناطق الغنية بالطاقة ضمن ضوء الشمس على امتداد طيف الاشعة تحت الحمراء. كذلك تم التحقق من الاداء الافضل للمعدنين الذهب والفضة في تعزيز الفيض في البنية.

جامعة الموصل

كلية الهندسة

تصميم ومحاكات وتوصيف دائرة تكامل ثنائي-هوائي لجمع الطاقة

عبد العليم عبدالفتاح رشيد

أطروحة دكتوراه

في

الهندسة الكهربائية–الكترونيك–حالة صلبة

بإشراف

الاستاذ

الدكتور خليل حسن سيد مرعي

الاستاذ

الدكتور خالد خليل محمد

1441هـ

2020 م