

¿CÓMO SE PUEDEN USAR LOS NANOPLASMONES EN LA VIDA DIARIA?

HOW CAN NANOPLAMONS BE USED IN DAYLY LIFE?

Angela S. Camacho

Departamento de Física, Universidad de los Andes, Colombia.

(Recibido: Noviembre/2017. Aceptado: Enero/2018)

Resumen

Los alimentos, la medicina o el cuidado del medio ambiente son elementos básicos de la vida diaria de los cuales depende nuestro bienestar. La Nanotecnología contribuye brindando seguridad y comodidad. El desarrollo de los sensores biológicos o biosensores son una herramienta que se ofrece para ser usada en áreas tan diversas como Biomedicina y diagnóstico clínico, jardines, análisis veterinario, análisis y control de la fermentación, análisis y producción de bebidas y alimentos, análisis de virus y bacterias, análisis farmacéutico, control de los residuos industriales, control y monitoreo de la contaminación, minería, gases tóxicos e industriales, y hasta aplicaciones militares. Hasta hace unos pocos años se consideraba que un biosensor era cualquier sonda analizadora que introducida en un medio biológico diera una señal cuantificable. Recientemente, la Nanotecnología ha descubierto la resonancia plasmónica superficial (SPR), un fenómeno que puede ser la base de un biosensor muy poderoso que exhibe incomparables ventajas respecto a otros métodos disponibles. En este trabajo mostramos los principios del funcionamiento de un biosensor nanoplasmónico, sus características y su superioridad comparativa en cuanto a velocidad de detección, alta especificidad, alta sensibilidad y posibilidad de análisis en tiempo real a partir de detectar cambios mínimos en el índice de refracción de la superficie de detección y de su vecindad inmediata. Finalmente nos ocuparemos de un avance que promete más ventajas aún y es el de las nanopartículas empleadas como sensores biológicos de aplicación limpia, segura y exacta gracias a la altísima localización de los inmensos campos eléctricos cercanos (LSPR).

Palabras Clave: Biosensores, resonancia de plasmón de superficie, nanopartículas metálicas.

Abstract

Food, medicine or the care of the environment are basic elements of daily life on which our well-being depends. Nanotechnology contributes providing security and comfort. The development of biological sensors or biosensors is a tool that is offered to be used in areas as diverse as Biomedicine and clinical diagnosis, gardens, veterinary analysis, analysis and control of fermentation, analysis and production of beverages and food, virus analysis and bacteria, pharmaceutical analysis, industrial waste control, pollution control and monitoring, mining, toxic and industrial gases, and even military applications. Until a few years ago a biosensor was considered to be any analytical probe that introduced into a biological medium would give a quantifiable signal. Recently, nanotechnology has discovered surface plasmon resonance (SPR), a phenomenon that may be the basis of a very powerful biosensor that exhibits unparalleled advantages over other available methods. In this work we show the principles of the operation of a nanoplasmonic biosensor, its characteristics and its comparative superiority in terms of detection speed, high specificity, high sensitivity and possibility of real time analysis from detecting minimal changes in the refractive index of the detection surface and its immediate vicinity. Finally we will take care of an advance that promises even more advantages and is the nanoparticles used as biological sensors of clean, safe and accurate application thanks to the extremely high location of the immense electric fields nearby (LSPR).

Keywords: Biosensors, SPR resonance, plasmons, metallic nanoparticles.

Introducción

Después de enumerar los campos en los cuales se puede usar un sensor nanoplasmonico empezamos a introducir los conceptos físicos de plasmón, nanoplasmon y los procesos que permiten desarrollar un sensor basado en plasmones. Los plasmones son excitaciones de la nube electrónica en metales que tienen que ver con fluctuaciones en la densidad de carga con diferentes frecuencias, las cuales dependen de las propiedades del material y, en el caso de nanoplasmones, también dependen de la geometría, tamaño y forma de las nanoestructuras.

Los plasmones de superficie son oscilaciones naturales del gas electrónico en la vecindad de una superficie metálica. Cuando la superficie es la de una

nanopartícula, el campo eléctrico cercano aumenta dramáticamente debido al campo del plasmón. Este nano-enfoque de plasmones ha demostrado aumentos espectaculares en la magnitud del campo local, lo cual ofrece diseños de nuevas generaciones de sensores, detectores y técnicas de nano-imagen. Estas técnicas permiten la obtención de imágenes ópticas de moléculas aisladas y manipulación óptica con aplicaciones en Biofotónica y Medicina. Después de mostrar algunos ejemplos de aplicación de los materiales nanoestructurados pasamos a definir un biosensor, un biosensor nanofotónico para llegar al nanobiosensor plasmónico y finalmente al biosensor de resonancia superficial plasmónica (SPR) y su uso en alimentos, detección de bacterias y virus y en nanoneurología y diagnóstico precoz de enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson.

Plasmones de superficie

El acoplamiento de un fotón con un plasmón en la interfase de un metal y un dieléctrico da lugar a un desdoblamiento de la curva de dispersión en un fotón corrido por el plasma y un polaron plasmónico de superficie (SPP) que cuantiza la interacción luz-materia y permite acceder a la región sub-lambda (por debajo del límite de difracción de la luz). Los plasmones superficiales permiten concentrar luz en nano-estructuras de dimensiones sublambda.

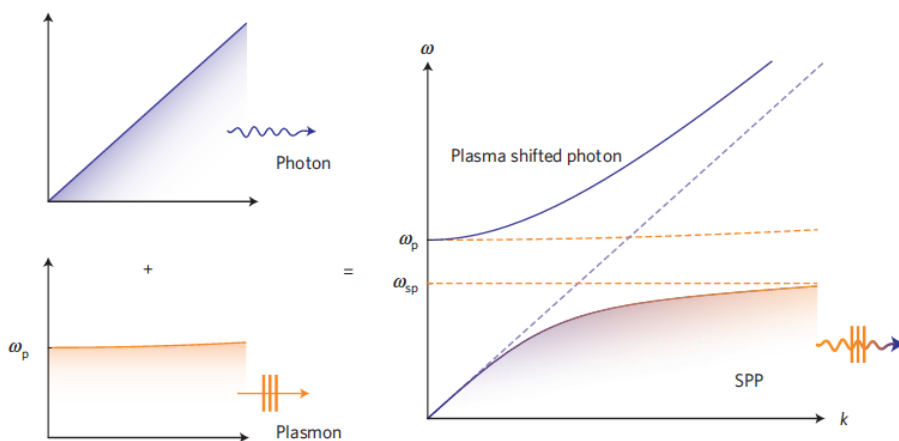


FIGURA 1. A la izquierda, relaciones de dispersión de la luz (fotón) y del plasmón (materia). A la derecha la relación de dispersión de la partícula híbrida luz. Materia [1].

Los plasmones de superficie son ondas electromagnéticas que se propagan sobre la superficie de un metal, que forma una interfaz con un dieléctrico. Estos plasmones son excitaciones híbridas luz-materia. Ellos son ondas transversales

magnéticos (TM) y el campo eléctrico es siempre normal a la superficie, como se ilustra en la figura 2.

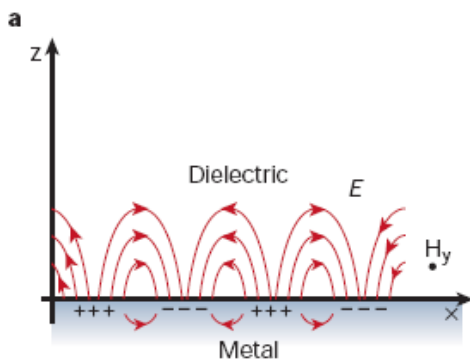


FIGURA 2. Bosquejo de un plasmón superficial.

Sensores

Los plasmones superficiales permiten concentrar luz en nano-estructuras de dimensiones sublongitud de onda como consecuencia de la diferente permitividad del metal y del dieléctrico que lo rodea. En dichas estructuras, que presentan resonancias SPR, se produce una elevada intensidad de campo eléctrico sobre la superficie del metal, lo que se puede usar para manipular la interacción luz-materia a escala nano. Las resonancias SPR en nanopartículas metálicas son altamente sensibles a las propiedades del medio dieléctrico que rodea el metal y muy localizadas, por esto se han propuesto como sensores: un pequeño cambio en el dieléctrico produce un elevado cambio en la respuesta plasmónica, principalmente, en la longitud de onda de resonancia SPR. Se conoce como resonancia superficial plasmónica localizada (LSPR) [1-3].

Biosensores

Un biosensor es cualquier sonda analizadora que introducida en un medio biológico dé una señal cuantificable. Es un dispositivo integrado por un receptor biológico (enzimas, ADN, anticuerpos, etc.) preparado para detectar una sustancia y un sensor capaz de medir la reacción de reconocimiento biomolecular y traducirla como señal cuantificable.

Los biosensores nanofotónicos han demostrado un nivel de sensibilidad extremo para la detección directa de proteínas y ADN.

La transmisión se hace con una guía óptica y ondas evanescentes que penetran cientos de nm permitiendo evaluar concentraciones de proteínas a

nivel picomolecular en unos minutos en muestras de microlitros también es posible la medición del estado metabólico de una sola célula. Esto significa hacer análisis en tiempo real, de forma directa y sin marcador.

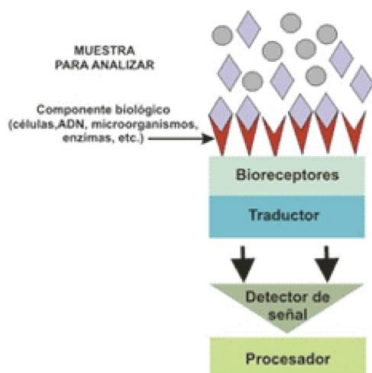


FIGURA 3. Bosquejo de medición.

El bosquejo de la medición se muestra en la figura 3. Es un dispositivo integrado por un receptor biológico (enzimas, ADN, anticuerpos, etc.) preparado para detectar una sustancia y un sensor capaz de medir la reacción de reconocimiento biomolecular y traducirla como señal cuantificable.

Nanobiosensor plasmónico

El principio físico de funcionamiento de un nanobiosensor plasmónico se muestra en la figura 4.

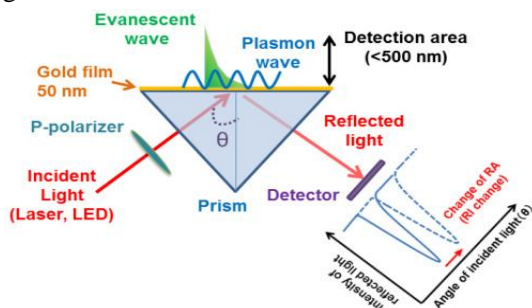


FIGURA 4. La resonancia es muy sensible al ángulo de incidencia, el cual mide mínimas variaciones de la superficie metálica.

Se deposita una capa metálica de unos 50 nm de espesor sobre un material dieléctrico (cristal) excitando la interfase del metal y el dieléctrico en condiciones de reflexión interna total, se obtiene una resonancia plasmónica para un cierto ángulo de incidencia de la luz, resonancia que se manifiesta en una absorción de la luz o sea un mínimo agudo en la intensidad de la luz reflejada. El ángulo de resonancia es muy sensible a cualquier variación de la superficie metálica como una inmuno-reacción o cualquier interacción molecular.

Basado en la Resonancia Plasmónica de Superficies (SPR), se aprobó en la Unión Europea un proyecto de 4 millones de euros con el objetivo de desarrollar un sistema para eliminar los riesgos de infección por *Legionella* en sistemas de distribución de agua y de climatización (calefacción, ventilación y aire acondicionado) por medio de la detección de esta bacteria de manera eficaz y rápida (menos de una hora). Esta tecnología es tan fácil de aplicar que no se necesita personal capacitado y además permite obtener resultados en las propias instalaciones.

También se ha propuesto usar este biosensor para detectar alérgenos, salmonelas y *Listeria* que se encuentra en las aguas estancadas y se contamina por vías respiratorias, el cual se puede instalar en los nuevos sistemas de climatización o adaptarse también a los ya existentes en sistemas de aire acondicionado para edificios con alta densidad de público (hospitales, centros comerciales, hoteles, restaurantes, cines, áreas de producción y oficinas) [4].

Biosensor nano LSPR

Resonancia superficial de plasmón de nanopartículas en donde la oscilación de electrones está muy localizada. La absorción de biomoléculas provoca cambios de color que se utilizan como medición. Este sistema es mucho más sencillo que el SPR porque mide transmisión y no reflexión y facilita la miniaturización.

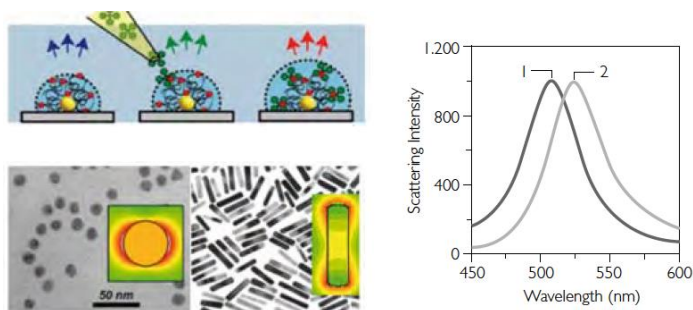


FIGURA 5. Biosensor LSPR.

Funcionamiento de un biosensor LSPR, es cuando la luz incide sobre la nanopartícula de oro. La interacción biomolecular que tiene lugar sobre el oro se detecta mediante el desplazamiento de la curva. Abajo a la derecha se observa la imagen de microscopía electrónica de nanopartículas de oro (esferas y cilindros) y a la localización de la resonancia plasmónica. La resonancia varía cuando se colocan los analitos en la superficie [5].

Con un nanoprisma de plata se puede ilustrar la resonancia de plasmón superficial localizado **LSPR** como sensor usando la reflectancia sumergiendo el nanoprisma en varias sustancias líquidas: nitrógeno, metanol, propanol, cloroformo y benceno, como se reporta en [6-7].

Ventajas de usar LSPR

Un sensor basado en LSPR ofrece muchas ventajas: No necesita marcadores, es sensible a los cambios de masa, es capaz de supervisar cualquier proceso dinámico, permite reutilizar el elemento biológico, necesita menor tiempo de análisis, y tiene la capacidad de reconocer interacciones de unión molecular, sin fluorescencia, sin marcajes con radioisótopos y con resolución femtométrica en el dominio de los átomos, además de prometer mediciones en tiempo real. Por otro lado, rapidez en el análisis, volúmenes de muestra reducidos, alto grado de automatización y equipos portátiles [8].

Conclusiones

Los plasmones de superficie son ondas electromagnéticas a frecuencias ópticas ligadas al interfaz entre un dieléctrico y un metal que muestran un confinamiento de campo en regiones sublongitud de onda con alta intensidad de campo eléctrico. Los plasmones superficiales se usan en sensores muy sensibles por la elevada concentración de campo eléctrico en el interfaz metal-dieléctrico.

Los sensores de resonancia superficial localizada (LSPR) exhiben un funcionamiento más sencillo porque miden transmisión y no reflexión, además de cumplir condiciones muy atractivas para su aplicación, son más robustos, más baratos, con posibilidad de multianálisis, ofrecen detección directa a nivel pico/femtomolar, multiuso, y manejo por personal no necesariamente especializado.

Los nanobiosensores implantados serían como centinelas dentro del cuerpo humano emitiendo señales de alarma ante la aparición de células enfermas. Todos estos son aportes de la nanotecnología a la vida diaria de un futuro muy cercano.

Referencias

- [1] M.S. Tame, K.R. McEnery, S.K. Ozdemir, J. Lee, S.A. Maier, and M.S. Kim. *Nature Physics*, Vol.9, June (2013).
- [2] A. Camacho y M. Zapata. *RDU, revista digital universitaria, revista.unam.mx*, Vol.16, No.5 (2015).
- [3] A. G. Brolo. *Nature Photonics* 6, 709 (2012).
- [4] Lai, E.P.C., IMohammed I., Mullet W.M., and YeungJ.M., *Analytica Chimica Acta*, 444, 97-102, 2001.
- [5] Borja Sepúlveda, Paula C. Angeloné, Laura M.Lechuga, Luis M Liz-Marchan, *Nanotoday* 4, No.3,244 (2009).
- [6] A. D. McFarland and Van Duyne. *Nano Lett.* 3, 1057–1062 (2003).
- [7] P.J. Rodríguez-Cantó, M. Martínez-Marco, F. J. Rodríguez-Fortuño, B. Tomás-Navarro, R. Ortuño, S. Peransí-Llopis, and A. Martínez, *Opt. Express* 19, 7664-7672 (2011).