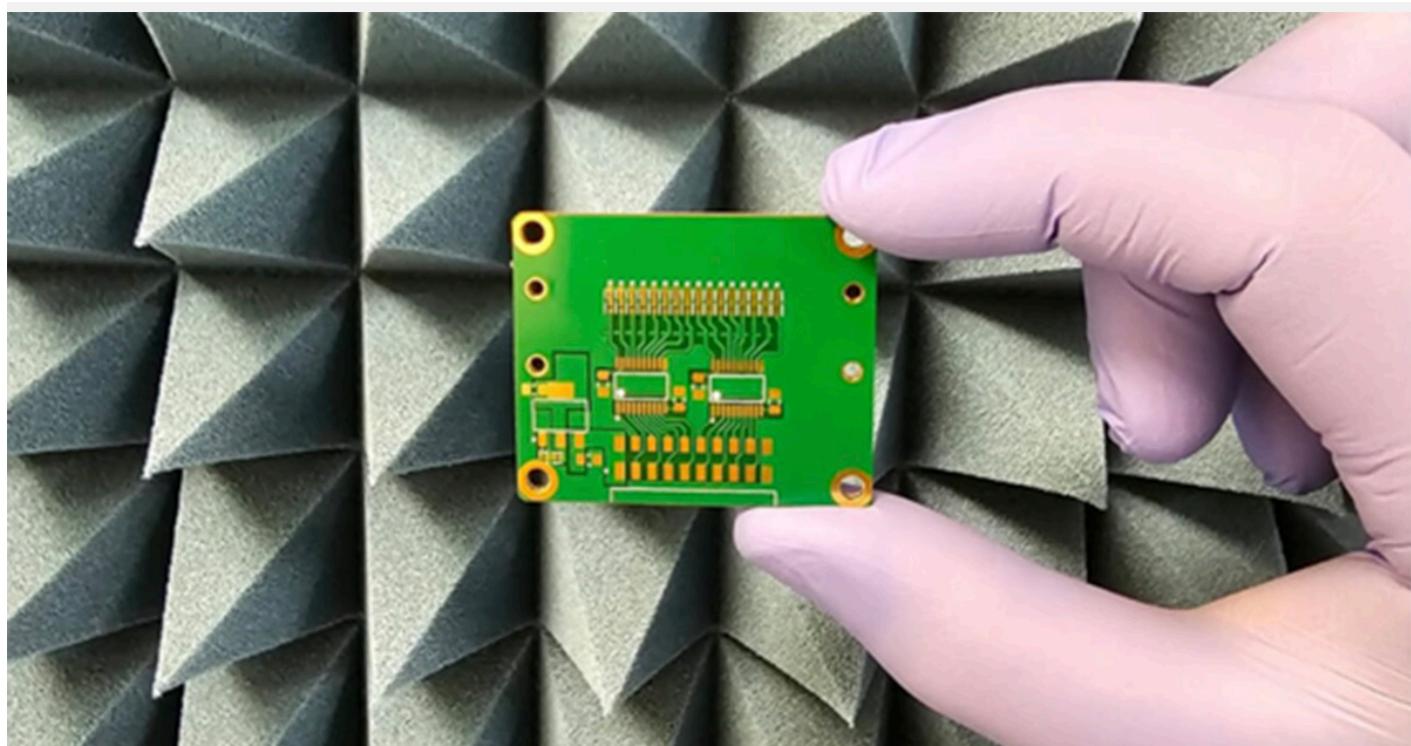




Nanodiscos: novo sensor ultrassensível detecta moléculas idênticas com efeitos opostos

POR ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO · 20 DE FEVEREIRO DE 2026

Sensor emprega materiais que emitem campos magnéticos para detectar moléculas quirais, de composições semelhantes mas estruturas e comportamentos biológicos diferentes



Sistema poderá ser empregado em diagnósticos precoces por detecção de biomoléculas em concentrações extremamente baixas, análise e controle de qualidade de fármacos e monitoramento em tempo real de processos biológicos sem marcadores fluorescentes – Foto: Divulgação IFSC

Na natureza, existem moléculas que, apesar de compartilharem a mesma composição, comportam-se de formas opostas por serem imagens espelhadas uma da outra — as chamadas moléculas quirais. Para facilitar sua diferenciação, pesquisadores do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP e do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) desenvolveram um sensor ultrassensível, capaz de identificar essas estruturas em concentrações mínimas ou até em moléculas isoladas.

O dispositivo é formado por nanodiscos que têm a propriedade de confinar e amplificar campos eletromagnéticos, fazendo a detecção de moléculas por meio da resposta óptica dada por ela quando está próxima dos discos. Na prática, o sensor “enxerga” a molécula através de sua resposta óptica, revelada pela interação com a luz. Os nanodiscos feitos de camadas de ouro alternadas com um material magneto-óptico criam um campo eletromagnético que “obriga” a molécula quiral a revelar sua orientação espacial de forma muito mais intensa do que a luz comum faria.



Osvaldo Novais de Oliveira Júnior – Foto: Divulgação

IFSC

Testado em simulações por computador, o sistema poderá ser usado na identificação de biomoléculas, no controle de qualidade de fármacos e para monitorar processos biológicos em tempo real. “Moléculas quirais são aquelas que não podem ser sobrepostas à sua imagem no espelho, como ocorre com as mãos direita e esquerda”, afirma ao **Jornal da USP** o professor Osvaldo Novais de Oliveira Junior, do IFSC, um dos pesquisadores que realizaram o trabalho.

“Essa propriedade é comum em moléculas fundamentais para a vida, como aminoácidos, proteínas, carboidratos e lipídios, e aparece também em muitos medicamentos.”

Sinais ópticos naturais

“A quiralidade é importante porque duas moléculas com a mesma composição, mas quiralidades opostas, chamadas de enantiômeros, podem ter comportamentos biológicos diferentes”, explica o professor. “Isso influencia interações bioquímicas e respostas a fármacos no corpo humano. Em biomoléculas, mudanças de quiralidade e estrutura também são discutidas na literatura como relevantes em contextos de doenças neurodegenerativas.”

Segundo Oliveira Junior, a principal dificuldade da detecção de moléculas quirais é que seus sinais ópticos naturais tendem a ser muito fracos. “Como as moléculas são muito

menores do que o comprimento de onda da luz, a resposta medida por técnicas convencionais costuma exigir altas concentrações ou grandes volumes de amostra”, observa. “Quando se busca detectar poucas moléculas, ou até mesmo uma única isoladamente, esses sinais ficam próximos do limite de detecção. Por isso, são necessárias estratégias mais complexas, caras ou que usam marcadores, o que pode dificultar medições rápidas e em tempo real.”

“O objetivo do trabalho foi projetar uma metassuperfície magneto-óptica ultrassensível para a detecção de moléculas quirais em concentrações extremamente baixas, chegando ao limite de uma única molécula”, enfatiza o professor William Orivaldo Faria Carvalho, do Inatel. “A proposta explora nanodiscos formados por um metamaterial hiperbólico magneto-óptico, capazes de confinar e intensificar campos eletromagnéticos, de modo a permitir uma resposta óptica mensurável mesmo quando a quantidade de moléculas é mínima.”

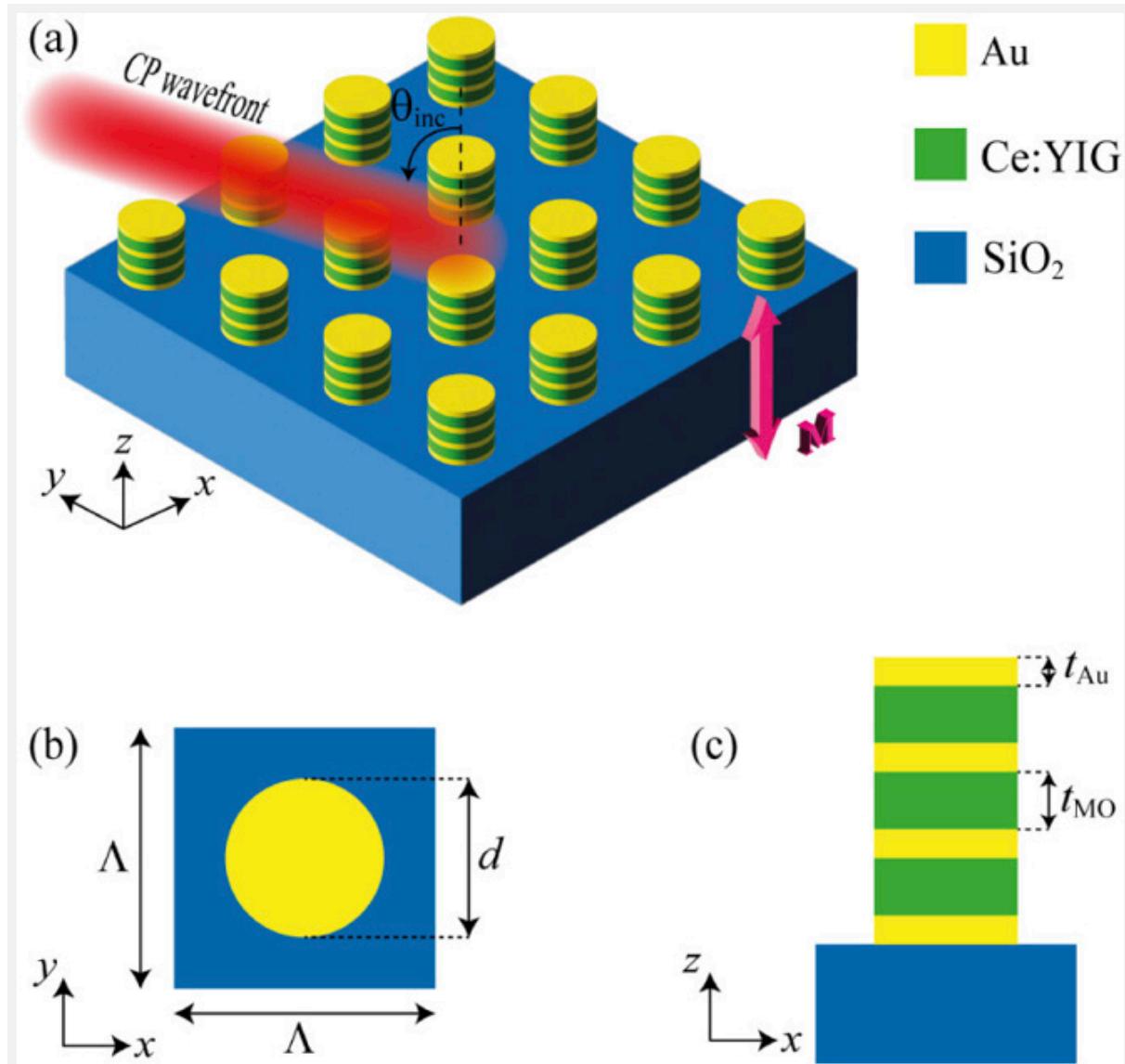
Superfície ultrassensível

Metassuperfícies são estruturas ultrafinas projetadas para controlar ondas eletromagnéticas com alta precisão. “São formadas por combinações específicas de materiais metálicos e dielétricos [que não conduzem corrente], que apresentam características eletromagnéticas não existentes na natureza”, descreve o professor Oliveira Junior.

“Na nossa pesquisa, a metassuperfície possui um arranjo periódico de nanodiscos feitos de camadas alternadas de ouro [apropriado para confinar a luz em escala nanométrica], um metal, e de granada de ítrio e ferro substituída por cério, material magnetoóptico ferrimagnético, sobre um substrato de sílica”, acrescenta Carvalho. A granada de ítrio e ferro com cério é um material que reage fortemente a campos magnéticos, permitindo controlar a luz de forma ativa. “Essa combinação forma um metamaterial com campos eletromagnéticos fortemente confinados e intensificados no volume dos nanodiscos, extremamente sensíveis a alterações no entorno imediato.”

De acordo com o professor Carvalho, na detecção quiral, ilumina-se a metassuperfície com luz circularmente polarizada, à direita e à esquerda, e aplica-se um campo magnético. “O sistema passa a refletir de modo diferente às duas polarizações, gerando um sinal mensurável chamado de dicroísmo circular magnético [MCD, do inglês Magnetic Circular Dichroism]”, relata. “A presença de moléculas quirais no entorno da metassuperfície modifica essa resposta, tanto em mudanças de

comprimento de onda e principalmente na amplitude do MCD, o que permite identificar e quantificar o efeito quiral mesmo em concentrações muito baixas.”



Combinação de nanodiscos de ouro, apropriados para confinar luz em escala nanométrica, e granada de ítrio e ferro substituída por cério, que reage fortemente a campos magnéticos, permitindo controlar luz de forma ativa, sob um substrato de sílica, forma nanomaterial com campos eletromagnéticos fortemente confinados, extremamente sensíveis a alterações ao seu redor – Imagem: Divulgação IFSC

Monitoramento em tempo real

“Neste trabalho, o sistema foi investigado teoricamente por simulações numéricas, ou seja, ainda não foi apresentado como um protótipo experimental do sensor óptico. Mesmo assim, os resultados simulados indicam desempenho muito alto, com sinais significativamente amplificados em comparação com abordagens usuais”, destaca o professor Jorge Ricardo Mejía-Salazar, do Inatel. De acordo com Mejía-Salazar, a estratégia validada numericamente é compatível com técnicas de nanofabricação, empregadas na literatura. “O que sugere que a realização experimental da estrutura

proposta é factível, e abrem perspectivas para que o desempenho previsto [também] possa ser validado experimentalmente.”

As aplicações mais diretas do dispositivo são em biossensoriamento quiral ultrassensível e sem marcadores (labelfree) – um cenário onde a nanotecnologia encontra a medicina e a farmacologia de precisão. A vantagem é poder detectar a molécula “pura”, já que marcadores químicos podem alterar o comportamento natural da biomolécula ou até destruí-la. “Mais especificamente, o sistema poderá ser empregado em diagnósticos precoces por detecção de biomoléculas em concentrações extremamente baixas, análise e controle de qualidade de fármacos quirais e monitoramento em tempo real de processos biológicos sem marcadores fluorescentes”, aponta. “Além disso, a capacidade de controle ativo por campo magnético e o domínio sobre polarização e ressonâncias pode abrir caminhos para novos componentes nanofotônicos compactos e outras aplicações de controle de ondas eletromagnéticas.”

A pesquisa é descrita no artigo *Toward Optical Detection of Single Chiral Molecules Using Magneto-Optical Hyperbolic Metasurfaces*, publicado na revista científica ACS Applied Material & Interfaces. Participaram do estudo os professores William Orivaldo Faria Carvalho e Jorge Ricardo Mejía-Salazar e a aluna de graduação Ana Luísa Lyra Pavanelli, do Inatel, em Minas Gerais, e o professor Osvaldo Novais de Oliveira Junior, do IFSC.

Mais informações: chu@ifsc.usp.br, com o professor Osvaldo Novais de Oliveira Junior

Texto: Júlio Bernardes

Arte: Gustavo Radaelli – Estagiário sob orientação de Simone Gomes

Jornal da USP