

NOVOS MATERIAIS

LENTE ULTRAFINAS

Protótipos de metalentes desenvolvidos na USP de São Carlos (*círculos da placa de vidro*) controlam a passagem da luz com mais precisão que as lentes tradicionais

Películas de silício podem combinar campo de visão amplo e alta resolução digital, embora a qualidade de imagens policromáticas ainda seja uma limitação

Sarah Schmidt

Uma nova geração de lentes está tomando forma nos laboratórios de universidades e empresas mundo afora. São as metalentes, películas de silício mil vezes mais finas que uma folha de papel, que têm a mesma função das lentes convencionais de vidro ou plástico, mas com um controle de luz muito mais preciso.

À medida que avançarem, as também chamadas metassuperfícies ópticas poderão substituir as lentes de câmeras de celulares, microscópios, endoscópios (aparelhos médicos que geram imagens do interior do corpo), óculos de realidade virtual e telescópios.

Emiliano Rezende Martins, em colaboração com Ben-Hur Viana Borges, ambos engenheiros eletricitistas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), desenvolve protótipos de metalentes que combinam mais de uma propriedade óptica desejável, como um amplo campo de visão e foco apurado em uma mesma superfície, algo hoje feito somente com mais de uma lente de vidro ou de plástico.

Rezende Martins sabe que ainda precisa superar vários desafios para torná-las funcionais. Um dos principais é fazer com que o diâmetro das metalentes seja maior do que algumas centenas de micrômetros (1 micrômetro equivale a 1 milésimo de milímetro) e, ao mesmo tempo, foquem mais de uma cor sem que ocorra uma distorção da imagem, um fenômeno chamado aberração cromática. Nas lentes curvas convencionais, a aberração cromática pode ser controlada em-

pilhando mais de uma lente, como ocorre nas câmeras dos celulares.

Em parceria com pesquisadores chineses, o grupo de São Carlos explora uma alternativa para esse problema ao criar um protótipo de metalente que foca objetos em três cores, vermelho, verde e azul, o chamado padrão RGB (*red, green e blue*), que capta imagens digitais coloridas. O dispositivo foi projetado com a ajuda da equipe brasileira e fabricado na China, em razão do acesso a equipamentos.

Uma propriedade fundamental das lentes é a abertura numérica, que designa a razão entre o raio da região que capta a luz e a distância focal. Quanto maior a abertura, maior a resolução da lente. Para uma lente imersa no ar, a maior abertura numérica possível é 1. Um dos grandes desafios no campo das metalentes é alcançar grandes aberturas para lentes com grande diâmetro. O protótipo do grupo de São Carlos tem abertura numérica de 0,8, com apenas 1,8 micrômetro de espessura (aproximadamente 50 vezes menor que o diâmetro de um fio de cabelo), e diâmetro de 1 milímetro (mm), “10 vezes maior do que os protótipos a que outros grupos chegaram”, destaca Martins, um dos autores de um artigo publicado em maio de 2022 na revista *NanoLetters*.

Os resultados se devem a duas inovações do grupo. A primeira é que a metalente tem duas camadas, em vez de três, como as de outros grupos, o que tornaria sua fabricação um pouco menos complexa. Ela é composta de materiais e espessuras diferentes, de modo a facilitar o trajeto da



luz: uma de nitreto de silício em cima, de 600 nanômetros (nm; 1 nanômetro é a bilionésima parte do metro), e outra de silício cristalino, de 400 nm.

A segunda inovação foi adotar dois formatos diferentes de nanopostes – quadrados e circulares – em vez de apenas um tipo. Nanopostes são estruturas que controlam a passagem da luz, visíveis apenas em microscópios eletrônicos de varredura. Os nanopostes mais próximos do centro da metalente atrasam o avanço da luz e fazem com que ela chegue ao foco junto com a vinda da região periférica, que tem de andar mais.

“Imagine que a metalente é uma avenida plana”, compara Martins. “A luz que vai atravessá-la estaria dividida em carros com velocidades diferentes. Os nanopostes funcionam como barreiras que atrasam os mais velozes e depois os liberam, fazendo com que todos cheguem ao mesmo tempo no lugar desejado.”

É o mesmo princípio das lentes convencionais, que, de acordo com o material e a curvatura, fazem os raios de luz vindos de várias regiões da lente se encontrarem no mesmo ponto e formarem o foco da imagem. Os nanopostes controlam a luz com precisão por serem das mesmas dimensões ou até menores que os comprimentos das ondas luminosas. Dependendo da aplicação, poderiam modificar, de maneiras diferentes, as propriedades da onda. “Também aumentamos o número de nanopostes e, desse modo, combinamos o atraso das ondas em três cores diferentes”, explica Martins.

Segundo ele, como as camadas das metalentes são geralmente esculpidas nas superfícies de silício por uma técnica chamada litografia de feixes

Modelo de metalente feito de plástico, com 20 cm de diâmetro, usado para estudar o efeito dos nanopostes (em lilás) sobre ondas eletromagnéticas

de elétrons, empilhar mais de uma camada requer muita precisão e dificilmente poderia ser um processo automatizado. O mais simples é fazer metalentes com uma única camada, algo que, por ora, só é possível para lentes que focam apenas uma cor.

“O grupo de São Carlos conseguiu um bom resultado para as três bandas de cores que cobrem praticamente todo o espectro visível da luz em uma área relativamente grande, comparada ao que já existia”, diz o engenheiro eletricista Hugo Enrique Hernández Figueroa, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que não participou do estudo.

Em outro projeto, o grupo de São Carlos criou um protótipo de uma metalente monocromática, com uma camada de silício. Essa lente pode gerar imagens de alta resolução, apenas na cor verde, com um campo de visão baixo ou, inversamente, com baixa resolução e alto campo de visão.

“As metalentes conseguem combinar duas ou mais funções de forma única por causa do controle fino sobre as propriedades da luz”, diz o engenheiro eletricista Augusto Martins, primeiro autor de um artigo de março de 2022 na revista *Advanced Optical Materials*. Ele passou parte de seu doutorado, concluído em 2021 na EESC-USP, na Universidade de York, no Reino Unido, onde construiu o protótipo dessa metalente. Por sua tese, ganhou o Prêmio Capes 2022 na área de engenharia IV.

O formato original dos nanopostes – nesse caso, elípticos – permitiu à metalente oscilar entre o maior campo de visão ou melhor foco e

PROJETORES PARA RECONHECIMENTO FACIAL

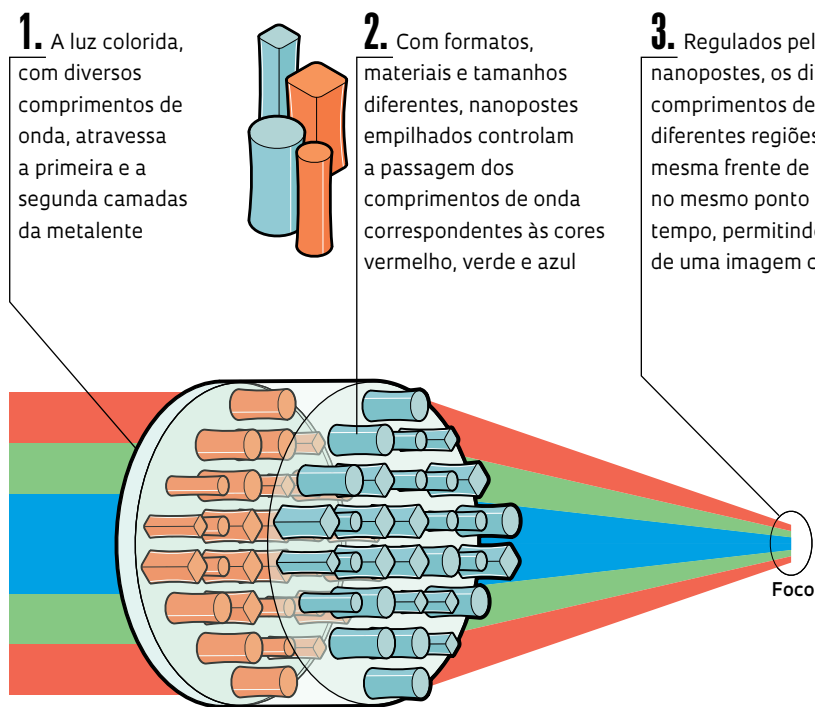
Criada pelo físico italo-americano Federico Capasso, da Universidade Harvard, um dos principais especialistas em metassuperfícies ópticas, a startup Metalenz, sediada em Boston, nos Estados Unidos, anunciou em maio de 2021 em seu site o lançamento de uma família de projetores para reconhecimento facial em celulares, entre outras aplicações.

Nos projetores, uma única metalente substitui até seis peças ópticas, entre elas quatro lentes refrativas convencionais que alinham a luz em infravermelho emitida para reconhecer os rostos. “O que a empresa de Capasso anunciou é um exemplo extremo do que as metalentes podem fazer: integrar diversos elementos ópticos em uma única película”, comentou Martins.

Em setembro de 2022, a Metalenz divulgou uma parceria com a STMicroelectronics, que produz semicondutores em Genebra, na Suíça, para fabricar sistemas de sensores de detecção para reconhecimento facial em smartphones. As metalentes deverão ser fabricadas em discos de silício com os outros componentes eletrônicos em uma única linha de produção.

PELÍCULAS QUE CONTROLAM A LUZ

As duas camadas e os tipos diferentes de nanopostes regulam a passagem de comprimentos de onda correspondentes às cores vermelho, verde e azul



FONTE FENG, W. ET AL. NANO LETTERS. 2022

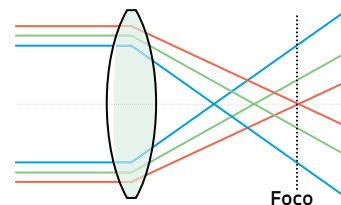
resolução, como resultado do uso de um filtro (ou polarizador) para cada caso. Uma das aplicações possíveis seria o endoscópio, que poderia ser regulado para retratar detalhes do interior do organismo examinado. Segundo Rezende Martins, um dos autores do estudo, esses aparelhos poderiam ser bem menores que os atuais se pudessem agregar uma única película de metalente.

Há também metalentes para aparelhos maiores. Em dezembro de 2022 na *NanoLetters*, pesquisadores da Universidade da Pensilvânia, nos Estados Unidos, apresentaram uma imagem monocromática das estruturas da Lua obtida com o protótipo de um telescópio com objetiva, que amplia a imagem, constituída por uma única lente ultrafina de 8 cm de diâmetro, que foca apenas em um comprimento de onda, o infravermelho.

“As aplicações das metalentes que exigem apenas uma cor, usadas para detecção 3D do ambiente, como as câmeras de reconhecimento facial ou de carros autônomos, devem avançar mais rapida-

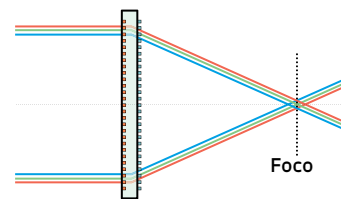
LENTE CONVENCIONAL BICONVEXA CONVERGENTE

A espessura e a curvatura do material regulam a passagem dos raios de luz, que convergem e formam o foco da imagem. Cores diferentes avançam com velocidades distintas no vidro e convergem para pontos diferentes; os raios azuis convergem antes do vermelho. Por isso, para evitar distorções cromáticas, é necessário combinar duas ou mais lentes



METALENTE

As películas de silício têm a mesma função das lentes convencionais de vidro ou plástico, mas com um controle de luz muito mais preciso



mente do que as que requerem várias cores, como as fotográficas dos celulares”, comenta Augusto Martins. “As metalentes de camada única poderiam ser feitas com o mesmo processo de fabricação de dispositivos eletrônicos, o que permitiria que fossem integradas mais facilmente aos aparelhos eletrônicos”, acrescenta Rezende Martins.

“As metalentes são uma evolução das lentes convencionais”, observa o físico Jarbas Caiado de Castro Neto, do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP, que não participou dos estudos da EESC. “Caso as pesquisas nessa área avancem, uma das principais vantagens será a redução expressiva nos custos de produção dos dispositivos eletrônicos, conforme várias lentes possam ser substituídas por uma película.” Castro Neto é um dos sócios-fundadores da empresa Opto Eletrônica, com sede na cidade do interior paulista, que desenvolve componentes e instrumentos ópticos para os ramos médico, industrial e aeroespacial. ■

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.