

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS ÓPTICOS ULTRARRÁPIDOS BASEADO EM NANOESTRUTURAS E METAMATERIAIS PLASMÔNICOS APLICÁVEIS NA INDÚSTRIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Introdução

A necessidade humana de comunicar-se com seus semelhantes de uma forma mais rápida e a grandes distâncias vem sendo uma das principais fontes de impulso para o desenvolvimento de novas tecnologias no setor de telecomunicações. A rápida evolução em sistemas de comunicação que inicia com a transferência de informações através de pinturas rupestres e sinais de fumaça, a fabricação do telégrafo, até os mais modernos telefones celulares (*smartphones*) e a internet são exemplos claros dos diversos estudos dedicados, por vários grupos de investigação ao redor do mundo, nas áreas de engenharia elétrica, óptica e telecomunicações. Atualmente, a infinidade de aplicações derivadas das telecomunicações produz impactos positivos nas atividades cotidianas, profissionais, além de ser responsáveis pelo crescimento de nossa civilização contemporânea moderna (HADDON, 2000). No entanto, apesar do Brasil ser considerado o 4º país em número de usuários de sistemas de comunicação, ele ocupa o 66º lugar em desenvolvimento de tecnologia de informação e comunicação (ITU, 2017). Um problema que acarreta na falta de inclusão digital, bem como no desenvolvimento sócio-econômico principalmente de estados pertencentes às regiões do Norte e Nordeste.

Do ponto de vista fundamental, um sistema de telecomunicações consiste em três elementos básicos: (i) um transmissor que interpreta a informação e a converte em um sinal, (ii) um meio de transmissão que transporta o sinal e (iii) um receptor que recebe o sinal convertendo-o novamente em informação utilizável (ROSENGRANT, 2006). A otimização dos processos de operação de cada um desses elementos torna-se crucial para o desenvolvimento de novos dispositivos de comunicação de alta eficiência. No entanto, um dos principais objetivos do setor de telecomunicações, além de obter rápidas transferências de informações e baixos níveis de perda, é a miniaturização de seus componentes. Nesse sentido, espera-se que as próximas gerações de sistemas de telecomunicações façam uso do setor de nanotecnologia para reduzir o tamanho dos dispositivos de comunicação, ao mesmo tempo de incrementar a eficiência da transferência e processamento de dados (SALINA, 2010).

Apesar dos grandes avanços em nanociência e nanotecnologia, nas últimas décadas, o desenvolvimento de sistemas de comunicação em nanoescala exige encontrar novos nanomateriais que apresentem uma resposta rápida frente a campos elétricos (sinais elétricos) ou eletromagnéticos (sinais ópticos), permitindo aplicações em dispositivos de alta velocidade para enlaces em comunicações de longo e curto alcance, dispositivos informáticos eficientes, memória de alta densidade e interconexões ultrarrápidas. A natureza dos nanomateriais a serem utilizados para tais aplicações depende do tipo de sinal a ser transportada, que por sua vez determina a velocidade de transferência de informação (SALINA, 2010). Por exemplo, até os dias de hoje, um grande número de sistemas de telecomunicações trabalha baseado na transferência de sinais elétricos, ou seja, um fluxo de elétrons que executa um determinado material, tais como: os telefones fixos (com fio), internet DSL (*Digital Subscriber Line*) e ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). Com base nisso, os elementos de transmissão e recepção elétrica mais modernos utilizam a tecnologia de semicondutores para fabricar circuitos elétricos/eletrônicos com dimensões nanométricas (ENGHETA, 2005). Infelizmente, problemas no tempo de atraso das interconexões, características dos semicondutores, limitam a taxa de transferência de dados para aproximadamente 10 GHz, que, apesar de ser uma velocidade relativamente rápida, não atende aos mais altos requisitos para aplicações em telecomunicações ultrarrápidas baseadas em sinais ópticos.

De fato, um grande passo no setor de telecomunicações foi dado com o uso de ondas para a transferência de informações, o que permitiu manter a comunicação com os pontos mais remotos do nosso planeta. Diversas tecnologias surgiram com esse avanço tecnológico, dentre as mais destacadas temos as ondas de rádio utilizadas para comunicação sem fio, que permitiram o uso de telefones celulares e da internet por *wi-fi*, sinais de televisão e algumas comunicações via satélite, como o sistema de posicionamento global, conhecido como GPS. No entanto, é com o uso de ondas de luz que a indústria de telecomunicações atingiu o ápice de sua tecnologia, conseguindo aumentar em mais de mil vezes a velocidade de transferência de informação. Desta forma, o setor de telecomunicações está investindo grandes esforços na área de fotônica, que utiliza fótons (partículas fundamentais de luz) para a transferência de informações. Como a velocidade da luz é muito mais rápida que o movimento dos elétrons, as taxas de transferência de dados podem ser aumentadas para dezenas de THz (NAGATSUMA, 2013). Atualmente, é possível desfrutar de um sinal de televisão a cabo, bem como conexões de internet através de fibras ópticas com velocidades superiores às oferecidas pelas conexões elétricas. Além disso, várias constelações de satélites artificiais, projetadas para fornecer cobertura global de banda larga, estão aproveitando os benefícios das comunicações ópticas, usando lasers para enlaces inter-satélital no espaço. No entanto, uma desvantagem de dispositivos

puramente fotônicos é a limitação para tamanhos micrométricos devido às leis de difração da luz. Isso significa que não é possível fabricar circuitos totalmente fotônicos tão pequenos quanto os nanocircuitos eletrônicos.

Neste contexto, a nanotecnologia plasmônica surge como uma opção que permite recuperar as vantagens de ambas as áreas, ou seja, as dimensões nanométricas da eletrônica (mediante o uso de semicondutores) adicionadas à velocidade ultra rápida de processamento e transferência de dados da fotônica (OZBAY, 2006). Para isso, a nanotecnologia plasmônica utiliza estruturas formadas de nanopartículas metálicas, localizadas aleatoriamente ou em arranjos periódicos bem definidos (metamateriais), que ao ser iluminados por campos eletromagnéticos induzem a oscilação coletiva de elétrons na banda de condução do metal (chamado de plásmom de superfície) resultando na intensificação dos efeitos de campo locais (REYNA, 2017a), capazes de desenvolver novas tecnologias no setor das telecomunicações. Estudos recentes têm mostrado que nanoestruturas plasmônicas possuem um tempo de resposta óptica de algumas unidades de femtossegundos (KUMAR, 2016), classificando-as como materiais ideais para a fabricação de dispositivos de transmissão e recepção de dados com velocidades ultrarrápidas (REYNA, 2015). Além disso, estudos em um novo tipo de fibras ópticas, cujo núcleo é constituído de nanopartículas plasmônicas, têm exibido boas características para guiamento e confinamento de luz, com baixo nível de perdas (REYNA, 2016), e com propriedades interessantes na fabricação de portas lógicas e moduladores de sinais ópticos com altas velocidades de processamento de informação, os quais correspondem a dispositivos essenciais em sistemas de telecomunicações ópticas (REYNA, 2017b).

Neste contexto, o presente projeto tem a finalidade de estudar o uso de nanotecnologia plasmônica para o desenvolvimento de dispositivos ópticos tais como: acopladores, moduladores e chaves ópticas com aplicações diretas em sistemas de processamento e transferência de informação de alta velocidade, aplicáveis na indústria de telecomunicações. Novos avanços nesta tecnologia emergente permitirão a miniaturização de circuitos complexos, em escala nanométrica, com alta eficiência e velocidades ultrarrápidas.

Objetivos

Geral

Desenvolver dispositivos ópticos ultrarrápidos, com baixo nível de perdas, construídos a partir de nanoestruturas e metamateriais plasmônicos e analisar o mecanismo de funcionamento para transferência e processamento de informação, aplicáveis na indústria de telecomunicações ópticas.

Específicos

- Projetar e identificar, através de simulações numéricas, os arranjos morfológicos de nanoestruturas e metamateriais plasmônicos que atuam como meios para multiplexar, modular e chavear sinais ópticos como alta velocidade e baixo nível de perdas.
- Fabricar as nanoestruturas plasmônicas, previamente idealizadas, e caracterizar seus coeficientes e tempos de resposta óptica frente a campos eletromagnéticos, principalmente na região espectral usado nas telecomunicações ópticas.
- Avaliar experimentalmente a eficiência dos nanodispositivos plasmônicos na transferência e processamento de sinais ópticos, tais como: multiplexação, modulação de amplitude/fase e chaveamento.

Metodologia

Inicialmente, pretende-se realizar simulações numéricas das nanoestruturas e metamateriais plasmônicos que permitam identificar a morfologia (tais como: nanoesferas, nanobastões, nanoprismas, nanocascas e nanoestrelas) e tamanho das nanopartículas (entre 5 e 100 nm), bem como sua distância de separação, periodicidade, estrutura multicamadas, entre outras variáveis, ideais para otimizar a intensidade e velocidade das suas respostas ópticas frente a campos eletromagnéticos. Softwares computacionais como o *Matlab* e *Comsol Multiphysics* serão utilizados para programar tais atividades, além de estimar as perdas de intensidade e eficiência nos procedimentos de transferência e processamento de sinais ópticos.

Experimentalmente, serão fabricadas as nanoestruturas e metamateriais plasmônicos, das melhores geometrias obtidas previamente nas simulações computacionais, a partir de sínteses químicas, fotoquímicas, de eletrodeposição e/ou litografia óptica destinadas a serem utilizadas como nanodispositivos ópticos de alta velocidade. Para garantir a correta fabricação dos nanomateriais desejados, serão caracterizadas as propriedades morfológicas das nanoestruturas através de microscopia eletrônica de varredura, as propriedades estruturais usando espectroscopia Raman, e os coeficientes ópticos (absorção, refração e espalhamento de radiação) mediante um espectrofotômetro UV-visível e um elipsômetro. Subsequentemente,

serão montados sistemas de medida de multiplexação, modulação de amplitude/fase e chaveamento de sinais ópticos a partir de um experimento multifuncional de mistura de ondas, que também servirá para medir os tempos de resposta das nanoestruturas e metamateriais plasmônicos para cada uma das atividades.

Um estudo sistemático será realizado com as geometrias dos nanomateriais que apresentem maior eficiência e menor tempo de resposta nas simulações numéricas de forma a ser comparados experimentalmente e avaliar a viabilidade de implementação desta nova nanotecnologia plasmônica na indústria das telecomunicações ópticas.

Aderência aos critérios de priorização

O presente projeto se encaixa em dois critérios de priorização selecionados pelo edital FACEPE 21/2018, como indicado de forma explícita, a continuação:

I. Reserva de bolsas para cursos novos

O programa de pós-graduação em Engenharia Física (PPG-ENGFIS), vinculado à Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA – UFRPE), está iniciando suas atividades em 2019.1. O PPG-ENGFIS foi aprovado na 181ª reunião do CTC-CAPES, em dezembro de 2018.

II. Apoio diferenciado à pós-graduação em Engenharias

O projeto está vinculado ao programa de pós-graduação em Engenharia Física, sediado na UACSA-UFRPE, pertencente à grande área de Materiais da CAPES.

Resultados esperados

Com o desenvolvimento do projeto, pretende-se construir as bases para a implementação de uma nova nanotecnologia baseada no uso de nanoestruturas e metamateriais plasmônicos para a fabricação de nanodispositivos ópticos que permitam acelerar a transferência e processamento de informação na indústria de telecomunicações ópticas. De forma específica, estima-se:

- A contribuição no entendimento do uso de nanopartículas e metamateriais plasmônicos destinados a incrementar as velocidades de transferência e processamento de sinais ópticos.
- O desenvolvimento de protótipos de nanodispositivos ópticos de alta velocidade, tais como: multiplexadores, moduladores de amplitude e fase e chaves ópticas, baseados em nanomateriais plasmônicos.
- A avaliação da eficiência e velocidade de transferência e processamento de informação dos nanodispositivos plasmônicos em comparação aos dispositivos eletrônicos atuais.

Além disso, projeta-se a publicação dos resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto em revistas internacionais indexadas, bem como a divulgação dos trabalhos realizados em congressos nacionais e internacionais. O(a) bolsista será estimulado(a) a apresentar os trabalhos realizados, em congressos internacionais nos quais, além da prática da língua estrangeira, ele(a) terá a oportunidade de interagir com outros profissionais e empreendedores na sua área.

As comunicações nos congressos, a publicação em revistas científicas, e a elaboração de um protótipo aplicável à indústria servirão como fatores de acompanhamento e avaliação do projeto.

Cronograma de atividades

Atividades	1º Semestre	2º Semestre	3º Semestre	4º Semestre
Revisão e atualização bibliográfica				
Disciplinas				
Projeção das geometrias dos arranjos de nanoestruturas e metamateriais plasmônicos através de simulações computacionais				
Fabricação e caracterizações das nanoestruturas e metamateriais plasmônicas previamente projetados				

Montagem dos sistemas de medida de multiplexação, modulação de amplitude/fase e chaveamento de sinais ópticos				
Avaliação da eficiência e velocidade de transferência e processamento de informação do nanodispositivos plasmônicos				
Análise dos resultados				
Elaboração de artigos				
Relatório				
Defesa da dissertação				

Referências

HADDON, L.; SILVERSTONE, R. Information and communication technologies and everyday life: individual and social dimensions. In: DUCATEL, K. et al. **The information society in Europe: work and life in an age of globalization**. 1.ed. Rowman & Littlefield Publishers, 2000.

ITU, International Telecommunication Union, **Measuring the information society report 2017**, 2017.

ROSENGRANT, M. A. **Introduction to telecommunications**. 2.ed. Pearson, 2006.

SALINA, F. M.; BARROS, E. F.; EISENBERG, W.; SMITH, D. M.; VISWANATHAN, S. Impacto f nanotechnology on telecommunications. In: ANWAR, S. et al. **Nanotechnology for telecommunications**. 1.ed. CRC Press, 2010.

ENGHETA, N.; SALANDRINO, A.; ALÙ, A. Circuit elements at optical frequencies: nanoinductors, nanocapacitors, and nanoresistors. **Physical Review Letters**. V. 95, p. 095504, 2005.

ENGHETA, N.; SALANDRINO, A.; ALÙ, A. Circuit elements at optical frequencies: nanoinductors, nanocapacitors, and nanoresistors. **Physical Review Letters**. V. 95, p. 095504, 2005.

NAGATSUMA, T.; HORIGUCHI, S.; MINAMIKATA, Y.; YOSHIMIZU, Y.; HISATAKE, S.; KUWANO, S.; YOSHIMOTO, N.; TERADA, J.; TAKAHASHI, H. Terahertz wireless communications based on photonics technologies. **Optics Express**. V. 21, p. 23736-23747, 2013.

OZBAY, E. Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions. **Science**. V. 311, p. 189, 2006.

REYNA, A. S. **High-order nonlinearities of photonic materials: Fundamentals and applications**. 2017, R459h. Tese (Doutorado em Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017a.

KUMAR, S.; SOOD, A. K. Ultrafast response of plasmonic nanostructures. **Review in plasmonics**. p. 131-167, 2016.

REYNA, A. S.; ARAÚJO, C. B. An optimization procedure for the design of all-optical switches based on metal-dielectric nanocomposites. **Optics Express**. V. 23, p. 7659-7666, 2015.

REYNA, A. S.; ARAÚJO, C. B. Guiding and confinement of light induced by optical vortex solitons in a cubic-quintic medium. **Optics Letters**. V. 41, p. 191-194, 2016.

REYNA, A. S.; ARAÚJO, C. B. High-order optical nonlinearities in plasmonic nanocomposites – a review. **Advances in Optics and Photonics**. V. 9, p. 720-774, 2017b.