UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA (DEE)

[MOD-NEU02] Substratos Físicos e Não-Linearidades em Silício

Plataformas SOI/SiN, Dispersão de Portadores (FCD/FCA) e Efeito Termo-Óptico

Prof. Marcelo Eduardo Vieira Segatto

LabTel — Laboratório de Telecomunicações | IN-Foton





Sumário do Módulo

1. Plataformas Integradas em Silício

2. Não-Linearidades e Dinâmica Térmica

Silicon-on-Insulator (SOI) vs Nitreto de Silício (SiN)

Plataforma SOI (220 nm)

- Alto contraste: $n_{\mathrm{Si}} \approx 3{,}47$, $n_{\mathrm{SiO_2}} \approx 1{,}44$.
- Confinamento submicrométrico: seção $450 \times 220\ \mathrm{nm}^2$.
- Curvaturas microscópicas: raios $R \approx 5\ \mu\mathrm{m}$.
- Limitação: Absorção por dois fótons (TPA) acima de 10 mW.

Plataforma Si_3N_4 (800 nm)

- Médio contraste: $n_{\mathrm{SiN}} \approx 2{,}00$.
- Perdas de propagação ultrabaixas: $< 0{,}1$ dB/cm.
- Sem TPA em 1550 nm (bandgap largo ≈ 5 eV).
- Ideal para reservatórios e cavidades de altíssimo fator Q ($> 10^6$).

Efeitos FCD, FCA e Termo-Óptico (TOC)

Relações Empíricas de Soref & Bennett (1550 nm)

A injeção de portadores livres induz desvio de índice (FCD) e perdas adicionais (FCA):

$$\Delta n_{\mathrm{FCD}} = -8{,}8 \times 10^{-22}\Delta N_e - 8{,}5 \times 10^{-18}(\Delta N_h)^{0,8} \quad \text{(Blue-Shift)}$$

$$\Delta \alpha_{\mathrm{FCA}} = 8{,}5 \times 10^{-18}\Delta N_e + 6{,}0 \times 10^{-18}\Delta N_h \quad [\mathrm{cm}^{-1}]$$

O Efeito Termo-Óptico (TOC)

A recombinação não radiativa dissipa calor na cavidade, gerando um desvio térmico positivo:

$$\Delta n_{\mathrm{TOC}} = \frac{dn_{\mathrm{Si}}}{dT}\Delta T \approx 1{,}86 \times 10^{-4}\,\mathrm{K}^{-1} \cdot \Delta T \quad \text{(Red-Shift)}$$

Concorrência Temporal: $\tau_{\mathrm{carrier}} \sim 1$ ns (rápido) contra $\tau_{\mathrm{thermal}} \sim 100$ ns (lento).

Síntese e Referências do Módulo [MOD-NEU02]

Obras Centrais de Consulta

- **Paul R. Prucnal & Bhavin J. Shastri (2017):** *Neuromorphic Photonics*, CRC Press / Taylor & Francis Group, ISBN 9781498725224.
- **Lorenzo Pavesi (2026):** *When Microring Resonators Behave Like Neurons*, Optics & Photonics News (Optica).
- **PNC 2027:** *XIV Winter School on Physical Neuromorphic Computing*, Università di Trento.

Continuidade da Trilha Formativa

Material didático coordenado pelo Prof. Marcelo Segatto para o Portal de Educação do IN-Foton.