

Электрооптические устройства на кремниевых фотонных интегральных схемах

С.С. Косолюбов*, А.С. Смирнов, А.И. Вергулес, Д.С. Земцов, И.А. Пшеничнюк,
А.К. Земцова, К.Р. Тазиев, Д.М. Жигунов, К.Н. Гарбузов, В.П. Драчев

*Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Сколковский институт науки и технологий»*

**E-mail: s.kosolobov@skoltech.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.130-131

Кремниевая оптоэлектроника является быстроразвивающимся направлением современных технологий и преследует цель объединения достижений микроэлектроники и интегральной кремниевой фотоники для создания сверхбольших интегральных систем, объединенных на одной подложке [1]. За последние десятилетия кремниевая фотоника и оптоэлектроника демонстрируют огромный прогресс: например, количество интегральных фотонных компонентов на кремниевых чипах может достигать нескольких десятков тысяч, что обуславливает высокую степень интеграции [2]. В данном сообщении обсуждаются теоретические и экспериментальные результаты исследования разработанных на основе кремния электрооптических компонентов и возможные применения разработанных устройств для спектрального анализа оптических сигналов в телекоммуникационном диапазоне.

Базовой платформой для создания компонент фотонных интегральных схем является платформа кремний-на-изоляторе (КНИ). Подложка КНИ содержит слой монокристаллического кремния, расположенного на диоксиде кремния, обычно термически выращенного на несущей подложке кремния. Высокий оптический контраст материалов кремний-диэлектрик, обеспечивает компактность изготавливаемых интегральных оптических элементов, ввиду того что оптическая мода имеет малые поперечные размеры в одномодовом кремниевом волноводе. Полная совместимость платформы КНИ с технологиями изготовления элементов микроэлектроники, в частности комплементарной металл-оксид-полупроводник (КМОП) технологии, открывает широкие возможности для интеграции компонентов фотоники и микроэлектроники.

В качестве примера оптоэлектронного устройства рассматривается перестраиваемый оптический фильтр на основе интегрального микрокольцевого резонатора с термооптическим управлением. Пассивная часть, включающая волновод, микрокольцевой резонатор, решетки ввода-вывода оптического излучения и тэпперы изготавливались с помощью электронно-лучевой литографии и последующего плазмохимического травления во фторной плазме. Особое внимание уделялось оптимизации технологии изготовления волноводов для достижения минимальных оптических потерь и высокоэффективных решеток ввода-вывода излучения [3]. В результате оптимизации, оптические потери в одномодовых волноводах для ТЕ-поляризованного излучения на длине волны 1550 нм достигали значений менее 2 дБ/см.

Приведены результаты исследования одиночных и связанных микрокольцевых резонаторов с различным диаметром, соответствующим областям свободной дисперсии в диапазоне от нескольких сотен пикометров до 37 нм. Исследованы оптические спектры пропускания изготовленных элементов, диапазон, скорость и эффективность перестройки оптического фильтра. Показано, что применение конфигурации схемы Вернье позволяет эффективно

увеличить диапазон перестройки оптического фильтра до 90 нм с эффективностью перестройки порядка 130 пм/мВт.

Реализация оптических систем, позволяющих передавать и обрабатывать информацию, в виде компактной фотонной интегральной схемы представляет большой научный и технологический интерес. Основным компонентом таких устройств используется модулятор оптического излучения. На кремниевой платформе оптические модуляторы могут быть основаны, например, на эффектах электрорефракции, электроабсорбции [4-7]. В работе проанализированы принципы работы электроабсорбционного интегрального модулятора с различными конфигурациями гибридных структур на основе кремниевых волноводов и прозрачных проводящих оксидов. Представлены результаты измерений коэффициента экстинкции и ширины полосы модуляции плазмонного электроабсорбционного модулятора на основе гибридного волновода, содержащего кремний и слои диэлектрика (SiO_2) и оксида индия олова (ITO).

Литература

- [1] X. Pengfei, and Z. Zhou. *Advanced Photonics* **4**, 044001-044001, (2022)
- [2] S. Shekhar, W. Bogaerts, et al., *Nature Communications*, **15** (1), 751 (2024).
- [3] D.S. Zemtsov, D.M. Zhigunov, et al., *Optics Letters*, **47** (13), 3339-3342 (2022).
- [4] D.S. Zemtsov, I.A. Pshenichnyuk, et al., *Journal of Lightwave Technology* **41** (19), 6310-6314 (2023)
- [5] I.A. Pshenichnyuk, F. Yousry, et al., *Physical Review B*, **109** (3), 035401, (2024)
- [6] I.A. Pshenichnyuk, S.S. Kosolobov, et al., *Physical Review B*, **103** (11), 115404, (2021)
- [7] I.A. Pshenichnyuk, G.I. Nazarikov, et al., *Phys. Rev. B* **100** (19) 195434 (2019)