

**Краткий научный отчет проекта РФФИ 14-29-0812014 (2014-2016), рук. А.В.Царев
“Сравнительный анализ и оптимизация оптических переключателей и модуляторов для
радиофотоники на основе электрооптических полимеров”**

Исследован вклад различных факторов, влияющих на работу сверхвысокочастотного (СВЧ) электрооптического (ЭО) модулятора на основе гребенчатых полимерных волноводов, способных пропускать большие уровни оптической мощности (до 100 мВт). Показано, что для корректного расчета характеристик ЭО модулятора бегущей волны необходимо учитывать неоднородность полинга электрооптического полимера электродной структурой модулятора, вклад частотной дисперсии диэлектрической проницаемости полимеров и конечную проводимость электродов, а также возможную туннельную связь между плечами интерферометра Маха-Цендера. С учетом всех перечисленных факторов выполнены численные расчеты и проведена оптимизация электрооптических модуляторов Маха-Цендера с делителями пучка на основе многомодовой интерференции (ММИ) и связанных волноводов. Показано, что применение дополнительных изолирующих полосок (особенно из High-K материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, например из MgO) позволяет значительно (до 2.8 раз) снизить управляющее напряжение и увеличить полосу частот (до 2.4 раз) по сравнению со случаем аналогичного электрооптического модулятора, но без таких полосок.

Оно обусловлено двумя взаимодополняющими эффектами:

- а) Смещение максимума электрического поля в область гребенчатого волновода при полинге полимера управляющими электродами модулятора. Это обеспечивает максимальное значение электрооптического коэффициента в области распространения оптической моды гребенчатого оптического волновода и, тем самым, снижает (до полутора раз) управляющее напряжение по сравнению со случаем стандартного модулятора на том же электрооптическом полимере.
- б) Снижение скорости СВЧ волны позволяет добиться лучшего согласования с групповой скоростью волноводной оптической моды, распространяющейся в модуляторе, что приводит к расширению рабочей полосы частот. Это увеличивает относительную (по сравнению со случаем без диэлектрических вставок) эффективность электрооптического управления, которая растет с ростом рабочей частоты и с увеличением длины электродов ЭО модулятора бегущей волны.

Предлагаемые конструкции ЭО модуляторов на основе High-K диэлектрика и высококачественного полимера ДН-80 (с эффективной электрооптической константой 80 пм/В) имеют полуволновое напряжение (V_{π}) от 0.8 В до 2.2 В (при работе на частотах от 1 до 100 ГГц). Отметим, что совместное использование делителей пучка 1x2 и 2x2 на основе двух вариантов ММИ элементов позволяет вывести электрооптический модулятор в нулевую рабочую точку без дополнительной электрической подстройки. При этом управляющее напряжение для переключения между состояниями «0» и «1» уменьшается в два раза (равно $\pm V_{\pi}/2$), а наличие пары сопряженных оптических выходов позволяет применять известные схемы обработки в режиме дифференциальной разности сигналов, что позволяет вдвое поднять амплитуду принимаемого сигнала при одновременном снижении уровня шума. ЭО модуляторы на основе ММИ очень технологичны и расчёты показывают, что они способны обеспечить подавление сигнала в состоянии «0» до - 35 дБ.

Для компенсации ухода характеристик ЭО модулятора с делителями пучка на связанных волноводах из-за технологического допуска при их изготовлении, а также для компенсации эффекта паразитного просачивания энергии между плечами интерферометра Маха-Цендера, предлагается использовать дополнительные управляющие электродные структуры в области расположения связанных волноводов. Последние обеспечивают дополнительную подстройку величины коэффициента деления, необходимую для оптимальной работы ЭО модулятора с уровнем подавления паразитного сигнала до -50 дБ.

Результаты, полученные в ходе выполнения проекта, открывают новые возможности для снижения управляющих напряжений электрооптических модуляторов до уровня порядка 1 вольта (особенно на частотах порядка 100 ГГц), что может привести к качественным изменениям в электронном обрамлении систем радиофотоники, т.к. позволит использовать низковольтные электронные СВЧ компоненты, более энергоэффективные и дешевые по сравнению с теми, что применяются в настоящее время.