

Влияние ширины металлических контактов на характеристики интегрального электрооптического модулятора на основе р-п-перехода

Г.А. Зарецкая, А.Б. Устинов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: В работе представлены результаты исследования влияния ширины металлических контактов на характеристики интегрального кремниевого электрооптического модулятора на основе интерферометра Маха-Цендера. Показано, что уменьшение ширины контактов приводит к увеличению частоты согласования оптической и СВЧ волн, а также к увеличению значения потерь и уменьшению рабочей полосы частот электродов бегущей волны модулятора

Ключевые слова: радиофотоника, системы оптической связи, электрооптический интегральный модулятор Маха-Цендера, амплитудная модуляция

1. Введение

Как известно, рабочие характеристики электрооптического модулятора определяются не только электрофизическими или оптическими параметрами. Наибольший вклад в суммарные потери в структуре модулятора или уменьшение полосы пропускания вносят физические ограничения, которые могут быть определены только при анализе поведения структуры в СВЧ-диапазоне [1]. В частности, особое внимание необходимо уделять конструкции управляющих электродов. Любое изменение геометрии управляющих электродов и подводящей линии передачи затрагивает СВЧ характеристики, которые в наибольшей степени и определяют итоговые рабочие параметры модулятора.

В данной работе подробно рассмотрено влияние ширины нижней части металлических контактов кремниевого интегрального электрооптического модулятора, построенного на несбалансированном интерферометре Маха-Цендера на результирующие характеристики.

2. Конструкция кремниевого электрооптического модулятора

Для расчетов, как и в работе [2], в качестве базовой была выбрана конструкция модулятора построенного на несбалансированном интерферометре Маха-Цендера. При этом расчеты производились только для отрицательных значений напряжения. Длины плеч интерферометра были выбраны 4,25 мм и 4 мм, электродов – 4 мм. Управляющее напряжение смещения при проведении моделирования прикладывалось к более длинному плечу.

Поперечное сечение оптического волновода на основе легированного кремния, в увеличенном масштабе схематично представлено на рисунке 1. Все основные геометрические размеры и материалы также указаны на рисунке. Значения концентраций основных носителей заряда в *p* и *n* областях были выбраны на уровне $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, соответственно. Концентрации носителей заряда в областях промежуточного легирования *p+* и *n+* составили $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Для создания омического контакта в областях, где структура прилегает к управляющим электродам, были добавлены области *p++* и *n++* с концентрациями $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

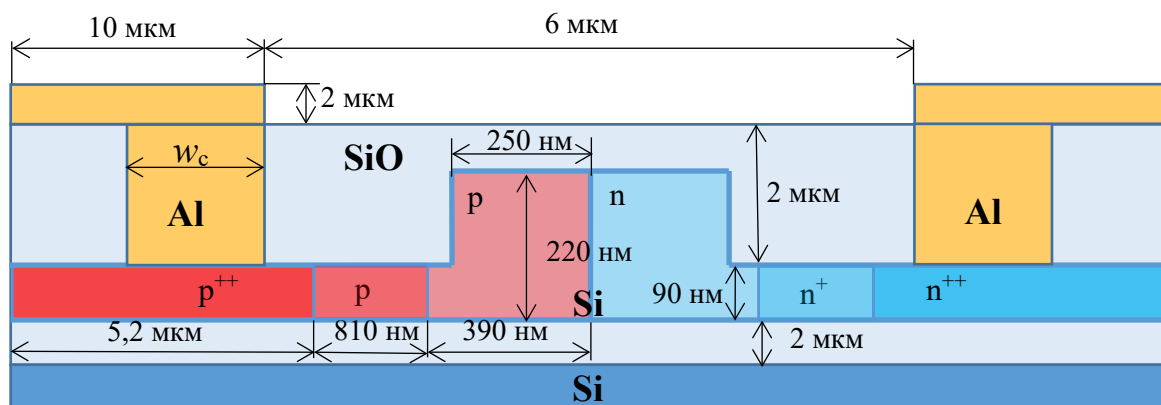


Рисунок 1. Поперечное сечение оптического волновода

3. Расчет характеристик модулятора

Рассмотрим подробнее влияние ширины металлических контактов (w_c) (см. рисунок 1). Изменение ширины контактов производилась в диапазоне от 0,5 до 3 мкм с шагом 0,5 мкм. Все зависимости рассматривались для рабочего обратного напряжения смещения 1,5 В.

Как показывают результаты моделирования, максимальное изменение сопротивлений, емкостей, а также оптических характеристик не достигает 1% от опорных данных, что укладывается в статистическую погрешность. Соответственно, и электрофизические и оптические характеристики волноведущей структуры, а также характеристики передачи модулятора в оптическом диапазоне можно считать неизменными и практически полностью совпадающими с результатами моделирования для базовой модели.

На рисунке 2 (а) представлена частотная зависимость группового показателя преломления электродов бегущей волны модулятора при различных значениях ширины нижней части контакта. Также на рисунке точками показан $n_g OPT$. Можно заметить, что с ростом частоты происходит уменьшение группового показателя преломления. При этом с увеличением w_c характеристика сдвигается вниз по частоте, и, соответственно, согласование между скоростями оптической и СВЧ волн наблюдается на более низких частотах.

Более подробно сдвиг частоты согласования (f_{match}) при изменении ширины нижней части металлического контакта характеризует рисунок 2 (б).

На Рисунке 3 (а) и (б) представлены частотные зависимости действительной и мнимой части характеристического сопротивления волноведущей структуры при различных значениях w_c . Из рисунков видно, что с увеличением ширины нижней части металлического контакта происходит уменьшение действительной части характеристического сопротивления и увеличение его мнимой части. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению СВЧ-потерь (см. рисунок 4). При этом, как и значение импеданса, значение декремента затухания стремится с ростом ширины нижней части металлического контакта к конечной величине, а разница между максимальным и минимальным значением потерь составляет порядка 2 дБ/см. Стоит также отметить, что рост ширины свыше 2 мкм практически не влияет на изменение α_{dB} .

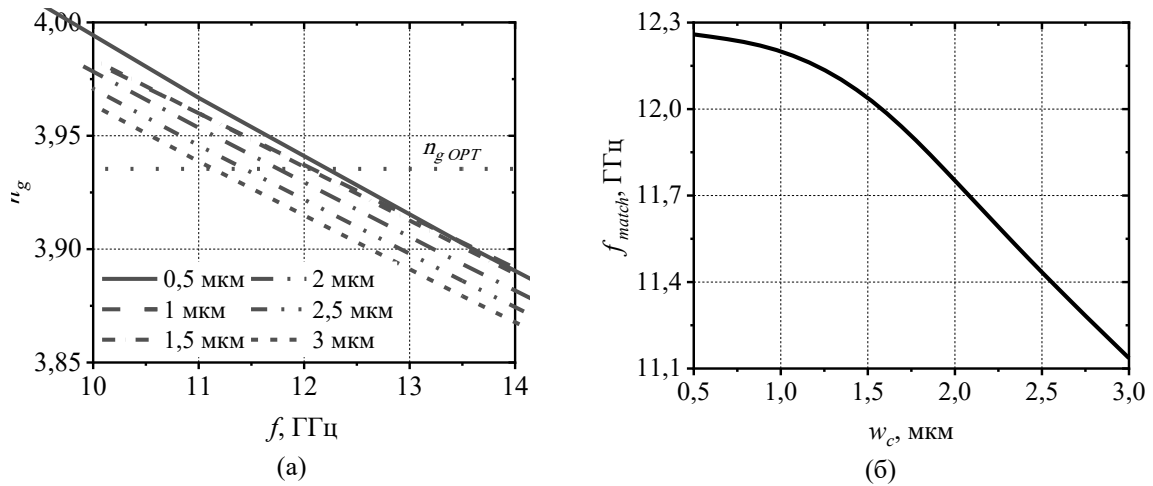


Рисунок 2. Зависимости группового показателя преломления от частоты при различных значениях ширины нижней части контакта (а) и частоты согласования групповых скоростей оптической и СВЧ волн от ширины нижней части контакта (б)

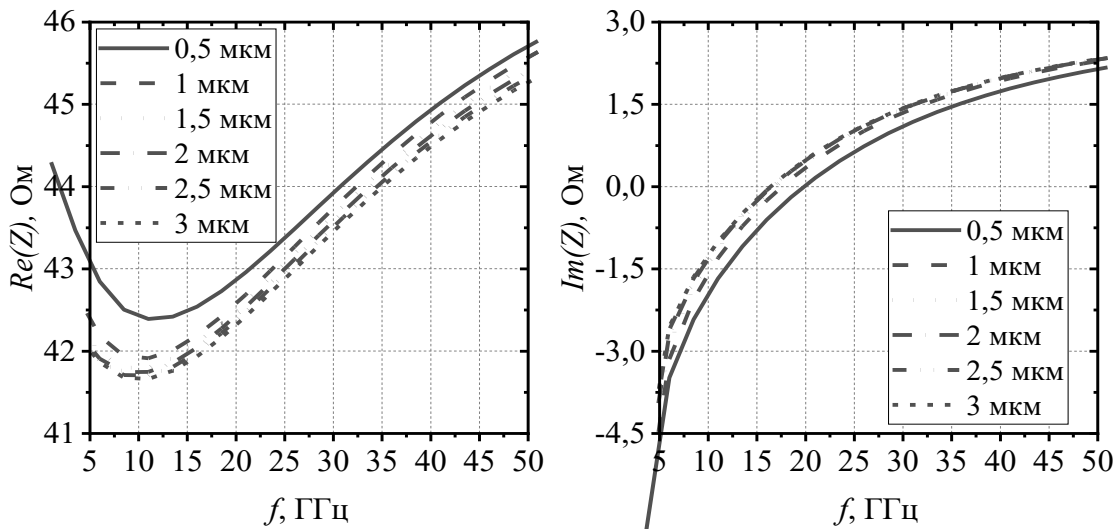


Рисунок 3. Частотные зависимости вещественной (а) и мнимой (б) части импеданса при различных значениях ширины нижней части контакта

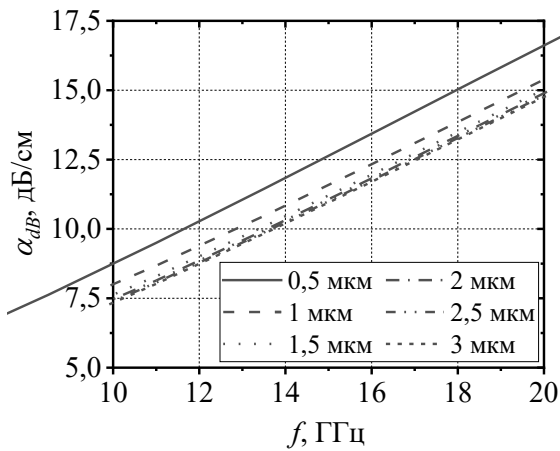


Рисунок 4. Частотная зависимость потерь в волноведущей структуре при различных значениях ширины нижней части контакта

Рассмотрим подробнее результирующие передаточные характеристики электродов бегущей волны (см. рисунок 5). Из рисунка видно, что с увеличением ширины контактов полоса пропускания электродов бегущей волны модулятора возрастает. Для упрощения сравнения и отображения полученных данных, на рисунке 6 приведен сравнительный график зависимости полосы пропускания модулятора (Δf_{3dB}) от ширины нижней части металлического контакта. Из рисунка видно, что при минимальной рассматриваемой ширине нижнего металлического контакта (0,5 мкм) полоса пропускания по уровню минус 3 дБ составляет 11,302 ГГц, а при максимальной (3 мкм) – 12,835 ГГц. Разница в ширине полосы пропускания электродов бегущей волны – около 1,533 ГГц.

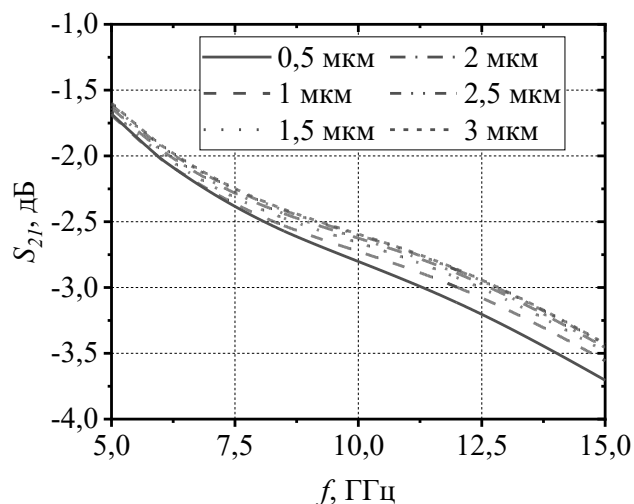


Рисунок 5. Характеристики передачи модулятора в СВЧ-диапазоне при различных значениях ширины нижней части контакта

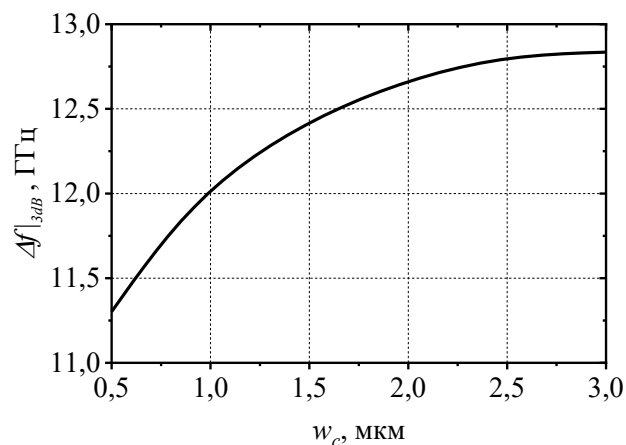


Рисунок 6. Зависимость полосы пропускания электродов бегущей волны модулятора от ширины нижней части металлического контакта

4. Заключение

Таким образом, в работе представлены результаты исследования влияния ширины нижней части металлических контактов на характеристики интегрального кремниевого электрооптического модулятора на основе интерферометра Маха-Цендера.

Исходя из представленных выше результатов, наименьшие потери и наибольшую

полосу пропускания демонстрирует структура с самой большой шириной контактов (3 мкм) (см. рисунок 4 и 6). В то же время, данная структура обладает самой низкой частотой согласования групповых скоростей СВЧ и оптической волн. Отметим, что уменьшение ширины контактов ведет к увеличению частоты согласования, а также к увеличению значения потерь и уменьшению рабочей полосы частот электродов бегущей волны модулятора.

Работа поддержана проектом “Госзадание” № FSEE-2020-0005

Список литературы

1. Ding, R. Design and characterization of a 30-GHz bandwidth low-power silicon traveling-wave modulator // *Optics communications*. – 2014. – Vol. 321. – P. 124–133.
2. Кустов И. Е., Зарецкая Г. А. Моделирование характеристик интегрального кремниевого электрооптического модулятора на основе интерферометра Маха-Цендера. Сборник статей X Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ» (СПб, СПбГЭТУ, 2020 г.), С 529-535.