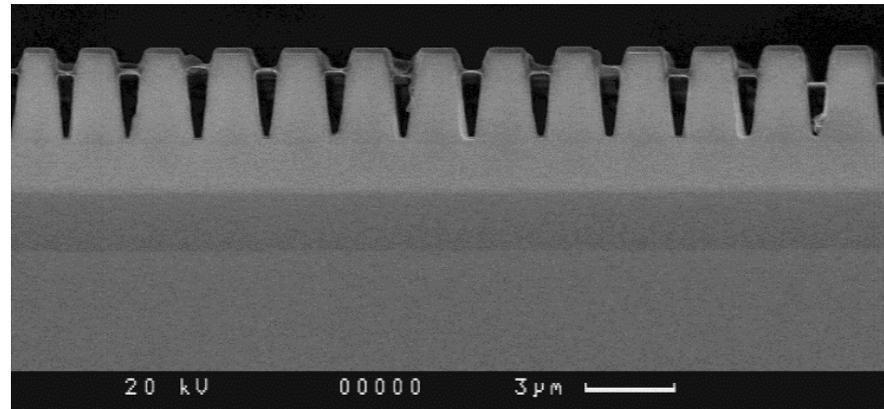


ДЕФЛЕКТОР ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ И С ПОВЕРХНОСТНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ

В.В. Золотарев, И.С. Шашкин, А.Э. Ризаев, И.В. Шушканов, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

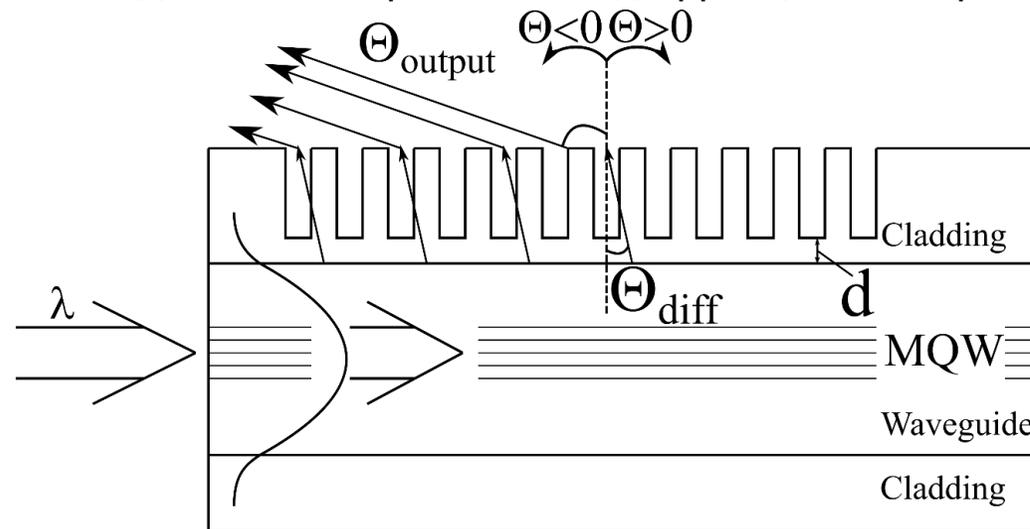
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

zolotarev.bazil@mail.ioffe.ru



SEM изображение поверхностной брэгговской решетки

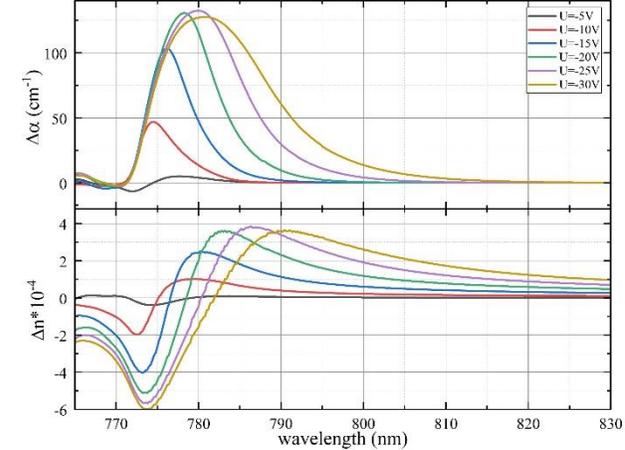
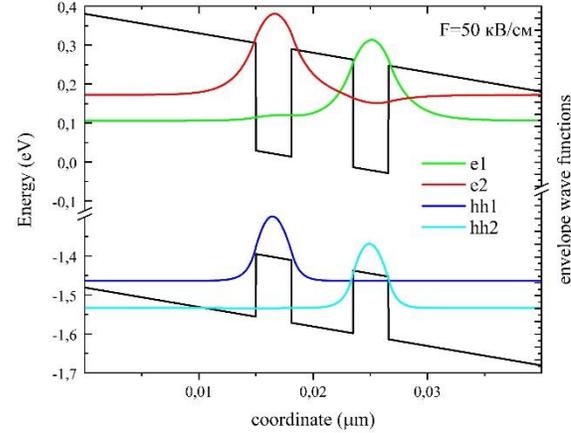
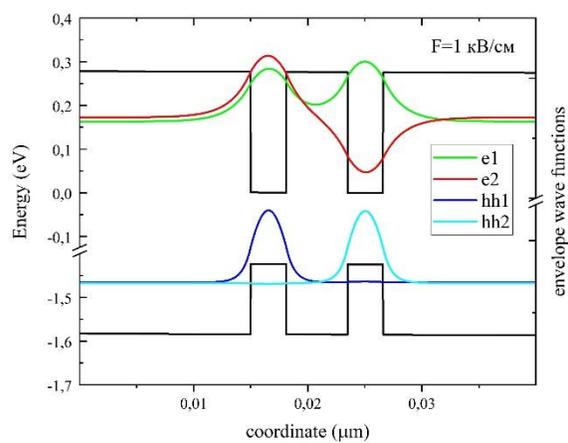
Идея: С целью полностью электрического управления лазерным лучом в пространстве предложен подход на основе электрооптического изменении показателя преломления волноводной гетероструктуры AlGaAs/GaAs с поверхностной дифракционной решеткой за счет квантово-размерного эффекта Штарка. Лазерное излучение стороннего источника, введенное в плоский диэлектрический волновод, содержащий набор квантовых ям, испытывает дифракцию на поверхностной решетке, за счет чего осуществляется вывод излучения с поверхности кристалла. Изменение оптических характеристик материала гетероструктуры при приложении управляющего напряжения обуславливает изменение показателя преломления моды волновода. Наличие встроенных в волновод квантово-размерных слоев увеличивает максимально достижимую амплитуду модуляции показателя преломления. Данный электрооптический эффект позволяет управлять условием дифракции волноводной моды на поверхностной дифракционной решетке, которое определяет угол вывода лазерного пучка.



Схематическое изображение чипа-дефлектора

Задачи: Оптимизация параметров конструкций волноводной гетероструктуры, поверхностной дифракционной решетки и квантово-размерной активной области обеспечивающие максимальный угол развертки и высокое разрешение, а также энергетическую эффективность вывода лазерного излучения на заданный угол.

Квантово-размерная активная область



Волновые функции электронов и тяжелых дырок в симметричных туннельно-связанных квантовых ямах для двух значений внешнего электрического поля 1 и 50 кВ/см.

Экспериментальные спектры модуляции поглощения и модуляции показателя преломления для двух туннельно-связанных квантовых ям толщиной 3 нм и толщиной барьера 5 нм при различном значении напряжения обратного смещения.

Была разработана активная область на основе структуры, включающей 20 пар туннельно-связанных GaAs квантовых ям, толщиной 3.5 нм, каждая, разделенных барьером $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$, толщиной 4 нм. Основная идея оптимизированного дизайна связанных квантовых ям: в отсутствие возмущения внешним электрическим полем, краевое поглощение минимально за счет обобществлений волновых функций электронов за счет туннелирования в соседнюю яму. Возмущение ям электрическим полем приводит к тому, что электронные волновые функции локализуются и ямы становятся независимыми, в результате экситонный пик краевого поглощения возрастает. В результате именно максимальная модуляция краевого поглощения позволяет получать высокое изменение показателя преломления. Таким образом, удалось достичь $|\Delta n| \leq 0.007$ при $\Gamma=20\%$.

Zolotarev V. V. et al. Enhancement of the refractive index modulation in a modulator based on GaAs/AlGaAs quantum wells // Semicond. Sci. Technol. IOP Publishing, 2019. Vol. 34, № 9.

Zolotarev V. V. et al. Studies on the refractive index modulation in tunnel-coupled quantum-confined active regions of AlGaAs/GaAs semiconductor heterostructures by the p-n junction electric field // Semicond. Sci. Technol. IOP Publishing, 2019. Vol. 34, № 9.

Оптимизация оптических потерь дифракции

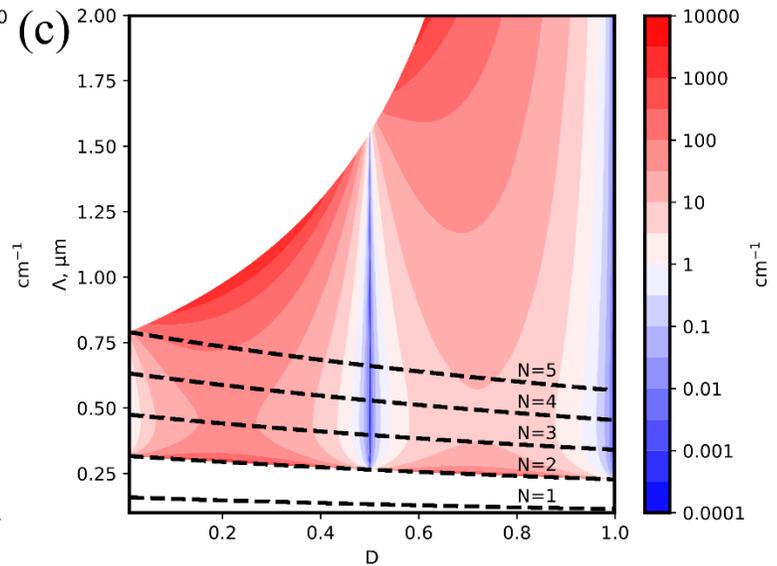
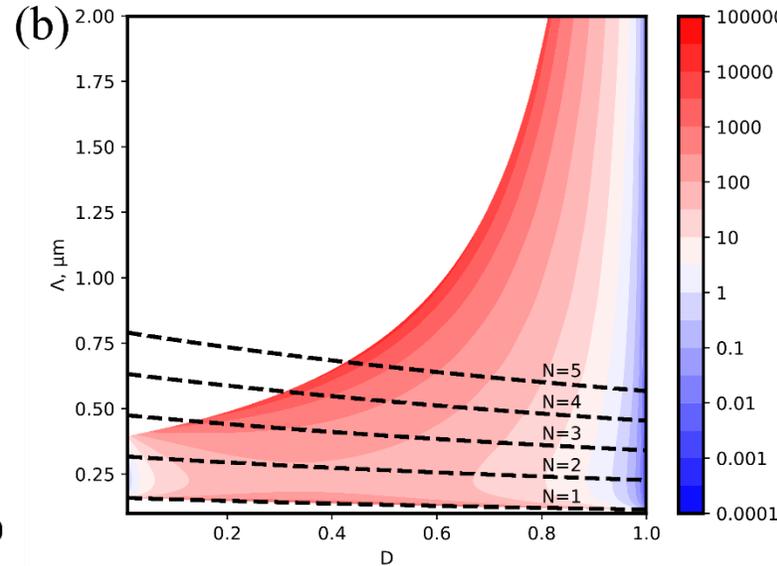
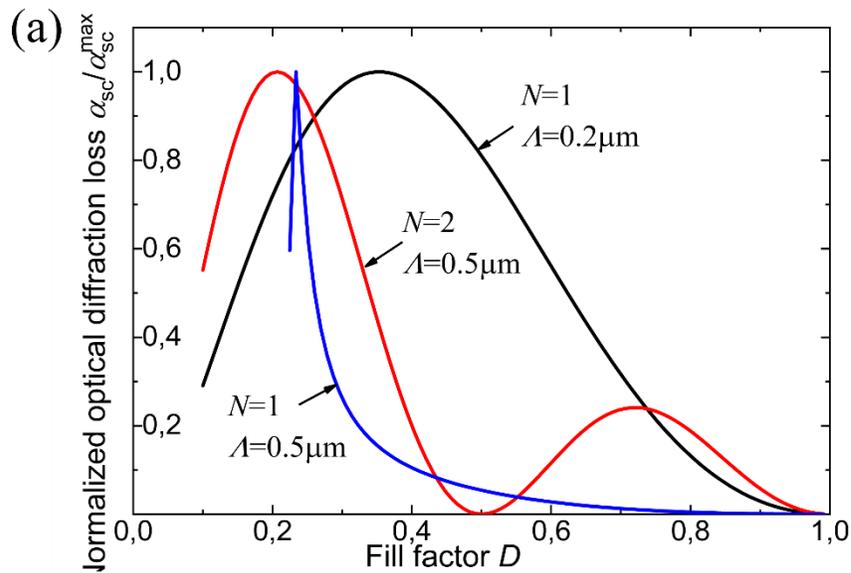
Потери на выход за счет дифракции на поверхностной брэгговской решетке определяются

1) Глубиной решетки: чем глубже решетка, тем выше потери, короче эффективная длина решетки, но и шире расходимость дифрагированного луча

2) Период брэгговской решетки

3) Фактор заполнения (отношением длины зубца полупроводникового материала к периоду решетки Λ)

С помощью оптимизации фактора заполнения появляется возможность управления распределением мощности между порядками дифракции



(a) Зависимость нормированных оптических потерь дифракцию от фактора заполнения D для первого и второго порядков дифракции при периодах, указанных на рисунке.

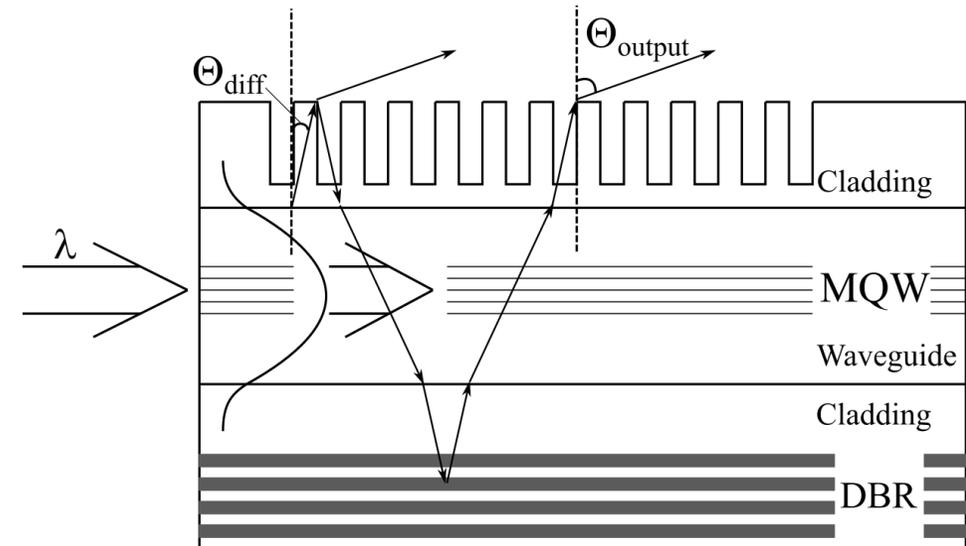
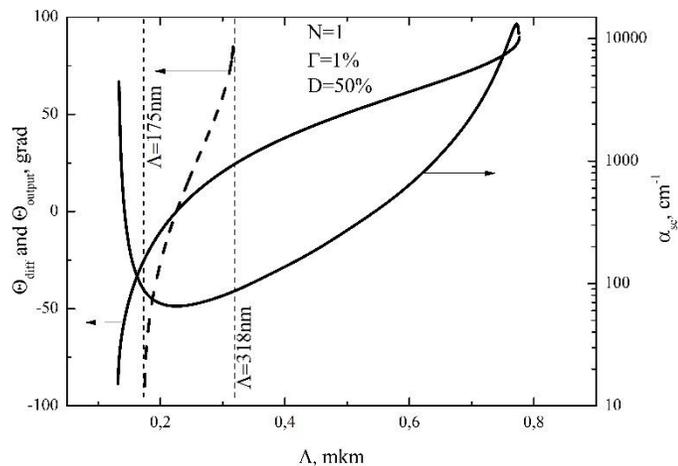
(b,c) контурный график оптических потерь дифракции для $N=1$ и $N=2$ соответственно. Линиями отмечены отсечки появления дифракции более высокого порядка.

Оптимизация оптических потерь дифракции

Рабочий диапазон углов дифракции определяется углом полного внутреннего отражения на границе чип – внешняя среда. Несмотря на то, что данная граница имеет сложную топологию, дифрагированный луч испытывает френелевское отражение на ней.

Расчеты продемонстрировали, что максимальная модуляция угла вывода луча осуществляется при стелящихся к поверхности углах вывода.

Для данных лучей френелевское отражение максимально, что критическим образом снижает эффективность чипа-модулятора. Для повышения эффективности необходимо вернуть отраженный от поверхности луч. Для этих целей предложена новая конструкция с дополнительным РБЗ зеркалом со стороны подложки, которое будет обладать большим отражением чем отражение на границе сред. Для данной конструкции необходимо развернуть выходной луч за счет увеличения периода решетки. При этом интенсивность появившегося второго порядка дифракции можно занулить за счет оптимизации фактора заполнения.



Схематичное изображение чип-модулятора с РБЗ, обеспечивающим вывод излучения через поверхность чипа

Оптические потери дифракции и углы дифракции Θ_{diff} (сплошная линия) и вывода Θ_{output} (пунктирная линия) излучения в зависимости от периода дифракционной решетки для первого порядка дифракции. Вертикальными прерывистыми линиями отмечен диапазон значений периода, при котором осуществляется вывод излучения.

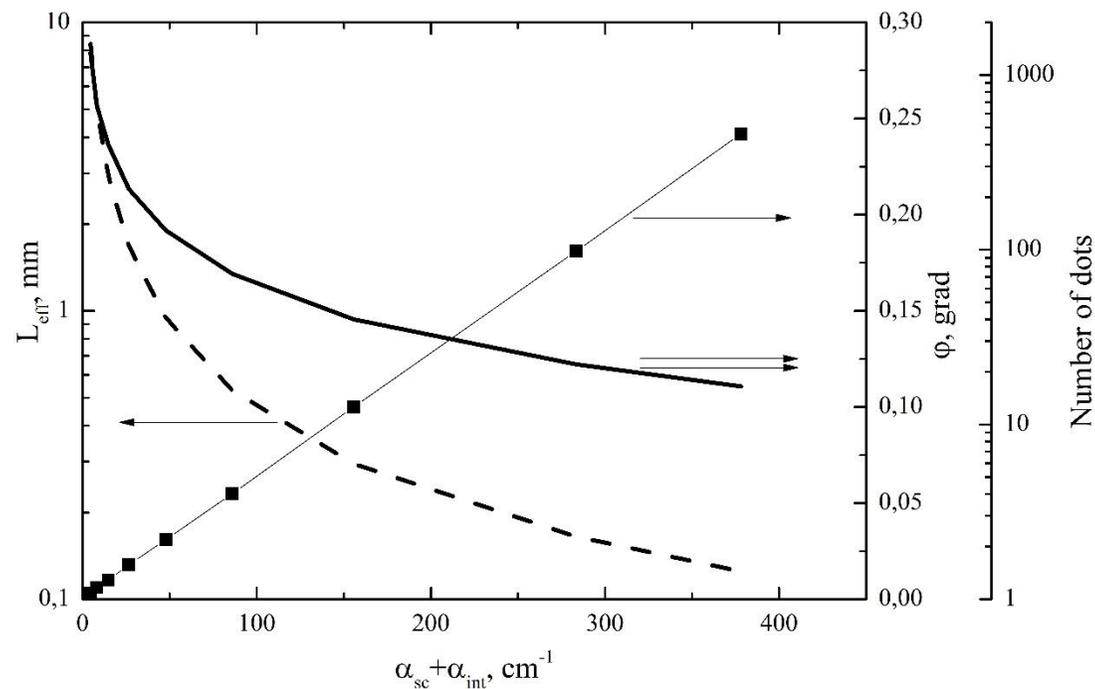
Результаты

В ходе работы были проведены исследования влияния параметров чипа-дефлектора на развертку лазерного луча. На основе полученных зависимостей можно осуществить оптимизацию для любого дизайна гетероструктуры и длины волны падающего лазерного луча.

В качестве примера были проведены расчеты для структуры AlGaAs/GaAs и длины волны внешнего источника 782 нм.

Период брэгговской решетки 317 нм обеспечивает необходимый угол дифракции, а распределение мощности между двумя порядками дифракции регулируется фактором заполнения штриха решетки 50%.

Суммарные оптические потери в 50 см^{-1} обеспечат разрешение порядка 130 точек с расходимостью лазерного луча порядка 0.03 градуса. При этом задающий лазерный источник должен обладать шириной спектра не более 0.5 \AA . Для модельной структуры, рассматриваемой в данной работе, при внутренних потерях 10 см^{-1} и потерях дифракции 40 см^{-1} , эффективность прибора составляет 71%.



Зависимость эффективной длины дифракционной решетки (L_{eff}), расходимости излучения (ϕ) и количества точек развертки от суммарных оптических потерь