

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОТУННЕЛИРОВАНИЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Али А. Ш., Абражевич Д. С.

Алексеев В. Ф. – канд. тех. наук, доцент

В докладе рассматривается перспективность проектирования полупроводниковых интегрально-оптических устройств на примере модуляторов света с использованием методов, основанных на фототуннелировании.

Модуляторы света представляют собой устройства управления параметрами световых потоков (амплитудой, частотой, фазой, поляризацией). Простейшие амплитудные модуляторы света – механические прерыватели светового луча, использующие вращающиеся и колеблющиеся зеркала, призмы, заслонки, а также вращающиеся растрсы. Тем не менее быстродействие и надёжность таких модуляторов света невелики. Для повышения этих параметров в проектировании полупроводниковых модуляторов света (ППМС) стал использоваться эффект Франца-Келдыша [1].

Эффект Франца-Келдыша заключается в поглощении света при приложении электрического поля к освещаемому полупроводнику в области его прозрачности, т.е. когда энергия фотона менее ширины запрещённой зоны. Эффект обусловлен фототуннелированием и находит теоретическое объяснение в соотношении неопределённости для импульса и координаты электрона во внешнем поле E . Краю запрещённой зоны соответствуют изменения коэффициента поглощения полупроводника на частоте фотона. Из этого можно сделать вывод касательно основных требований к материалам для модуляции света:

- во избежание рассеяния большой мощности в кристалле он должен иметь высокое удельное сопротивление и невысокую фотопроводимость;
- кристаллы должны быть чистыми, без дефектов и механических повреждений;
- для снижения рабочей напряжённости поля эффективная масса должна быть максимально небольшой [1].

Для целого ряда полупроводниковых кристаллов, как пример: йодид ртути, сульфид цинка, кремний; интенсивное гашение проходящего света электрическим полем наблюдалось достаточно давно, однако серьёзные успехи по применению эффекта Франца-Келдыша в полупроводниковых модуляторах света были сделаны не так давно. Это объясняется такими причинами, как трудность выполнения вышеуказанных условий и технологические проблемы создания эффективных гетероструктур р-п переходов в системе металл-полупроводник для облегчения обеспечения воздействия электрического поля на оптическое излучение [1].

В настоящее время эффективная модуляция света на основе эффекта Франца-Келдыша реализована в структуре приборов с зарядовой связью, представляющих собой совокупность МДП-структур, сформированных на общей полупроводниковой подложке. Первый экземпляр полупроводникового модулятора света представлял собой линейку из 16 МДП-элементов с арсенидом галлия n-типа в качестве полупроводника, выращенный эпитаксией на полуизолирующей подложке арсенида галлия толщиной 300 мкм, легированной хромом. На поверхности структуры была создана последовательность электродов из титана, образующих с полупроводником барьер Шотки. Каждый период последовательности включал в себя один полупрозрачный электрод и два непрозрачных, на которые дополнительно осаждалось золото. Ширина каждого из электродов составляла 9 мкм с промежутком между ними в 2 мкм, шаг структуры составлял 33 мкм. Такая геометрия обеспечивала пространственную периодичность оптических сигналов при распространении света вдоль нормали к плоскости полупроводниковой пластины. Структура прибора с зарядовой связью работала по трехфазной схеме, в исходном состоянии которой области под полупрозрачными электродами обеднены электронами, а также существует электрическое поле, спадающее в глубину полупроводника (на границе с подложкой оно равно нулю). На свет, длина волны которого при комнатной температуре равна ширине запрещённой зоны, и попадающая в область размытия края зоны, действует сильное поглощение, поэтому интенсивность светового пучка на выходе минимальна. Поле под прозрачными электродами в объёме полупроводника частично или полностью, в зависимости от величины зарядового пакета, компенсируется при их передаче. Из этого следует уменьшение ширины запрещённой зоны полупроводника и уменьшение поглощения в соответствии с уменьшением амплитуды поля [2].

Тактовая частота передачи электрических сигналов составляет 1,6 МГц. Мгновенная картина пропускания света структурой фиксировалась при включении оптического импульса в момент прохождения последовательности зарядовых пакетов под всеми полупрозрачными электродами.

Пропускание увеличивалось в 2,9 раза при изменении потенциала в области модуляции света на 35 В. Источниками импульсов света, синхронизованных по тактовой частоте посылки зарядовых пакетов, являлись светодиоды, в которых вырезались узкие полосы с длинами воли 0,89 и 0,90 мкм или полупроводниковые лазеры на длине волны 0,9 мкм.

Для определения эффективности модуляции, нужно рассмотреть распределение электрического поля в ячейке прибора с зарядовой связью. При однородном легировании эпитаксиального слоя полупроводника n-типа толщиной L полное падение потенциала в «пустой» ячейке, т. е. в отсутствие зарядового пакета, определяется выражением

$$V_l = \frac{qNdL}{2\varepsilon_0},$$

где q – заряд электрона;

N – плотность легирующей примеси;

L – толщина полупроводника;

ε_0 – электрическая постоянная.

Параметрами типичного ППМС на основе арсенида галлия являются: $N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$; $V = 20 \text{ В}$; $L = 1,7 \text{ мкм}$; длина ячейки — 70 мкм на $\lambda = 890 \text{ нм}$ и 230 мкм на $\lambda = 905 \text{ нм}$, поскольку с увеличением длины волны электропоглощение уменьшается. По причине ограниченности диапазона длин волн значениями от 890 до 900 нм, наиболее приемлемыми излучателями являются одномодовые полупроводниковые лазеры.

Сравнительные оценки показывают перспективность использования полупроводниковых модуляторов света для обработки радиосигналов. Из плюсов можно выделить большую размерность – 200×200 элементов, которая может быть увеличена до 1000×1000, достаточно высокий динамический диапазон обработки сигналов – вплоть до 40 дБ, малые габаритные размеры и хорошую стыковку с фотоприёмными матрицами. Эффективность модуляции при проектировании полупроводниковых модуляторов света на основе эффекта Франца-Келдыша составила 0,38, что является довольно высоким значением среди полупроводников данного вида. Из всего вышесказанного можно сделать вывод о перспективности использования данного метода.

Список использованных источников:

1. Энциклопедия Физики и техники [Электронный ресурс]: база данных. – Режим доступа: <http://femto.com.ua>.
2. Студопедия [Электронный ресурс]: база данных. – Режим доступа: <https://studopedia.info>