

**МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
СВЯЗИ**

На правах рукописи

Абраров Санжар Магруфович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
УСИЛИТЕЛЯ-МОДУЛЯТОРА ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Специальность 05.12.17.

"Радиотехнические и телевизионные системы и устройств

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**ТАШКЕНТ - 1997**

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Источники излучения в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) выполняют, в основном, две функции: модулятора и усилителя оптического сигнала. Из разновидностей оптических усилителей наибольшее практическое распространение имеют устройства на основе инжекционного гетеролазера с токовой накачкой. Широкое использование полупроводниковый гетеролазер (п/п лазер) получил благодаря своим чрезвычайно малым размерам, относительно высокому КПД и дешевизне. Вместе с тем, в современных оптических усилителях, ресурсы п/п лазера используются не совсем эффективно.

Оптические усилители с токовой накачкой п/п лазера, главным образом, подразделяются на два вида: усилитель бегущей волны (УБВ) и усилитель с преобразованием. УБВ прост в конструкции и недорог, однако, сильные нелинейные искажения при усилении большого сигнала и очень низкое соотношение сигнал/шум при усилении малого сигнала, практически сводят на нет его практическое применение. Перечисленные недостатки усиления особенно ощутимы при работе с аналоговым сигналом. Кроме того, к нему предъявляются большие требования при юстировке п/п лазера с оптическим волокном.

Усилитель с преобразованием более сложен: в нем оптический сигнал, снимаемый с оптоволокна, преобразуется в электрический, при необходимости восстанавливается и усиливается, а затем электрический сигнал преобразуется в оптический, запитывая п/п лазер переменным модулируемым током. К главным недостаткам оптического усилителя с преобразованием относятся: сложность согласования источника модулируемого тока с излучателем и сильная зависимость спектральных и ватт-амперной характеристик излучателя от величины тока инжекции. Например, мощные п/п лазеры, по указанным причинам, ограничены по частоте модуляции значением в 1,5 - 2 ГГц. Сильная спектральная и ватт-амперная зависимости п/п лазера от тока приводят к нежелательным эффектам, таким как высокий уровень шума и нелинейность модуляции.

Исходя из вышеизложенного, необходимость в разработке оптического усилителя с высокой частотой модуляции амплитуды мощности излучения, вместе с тем работающего в режиме постоянного тока инжекции, является весьма актуальной задачей. В диссертации рассматривается разработка и исследование усилителя конструктивно схожего с УБВ, но работающего, как и любой оптический усилитель с преобразованием, в режиме ~~оптической~~ генерации. Отличительной особенностью исследуемого п/п лазерного

усилителя является постоянная величина запитываемого тока, что на наш взгляд, может разрешить многие проблемы возникающие при усилении и модуляции. Приведенные в диссертации исследования устройства оптической связи представляют большой научно-практический интерес и могут быть использованы при внедрении разработки в отрасль. На оптический усилитель-модулятор оформлен патент ИН DP 57.000.01, дата приоритета от 19.01.96 г.

**Цель работы** – разработка и комплексное исследование оптического усилителя-модулятора на основе п/п лазера с пьезопленочными покрытиями зеркал Фабри – Перо, а также выработка практических рекомендаций по использованию пьезопленочной технологии для создания новых видов микроэлектронных приборов излучения. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- исследование характеристик среднегеометрического коэффициента отражения зеркал резонатора Фабри – Перо как функции противоположно нанесенных толщин, изменяющихся во времени просветляющих и антипросветляющих покрытий;

- нахождение семейств ватт-амперных характеристик излучения инжекционного гетеролазера как функций двух переменных – толщин противоположно нанесенных прозрачных пленочных покрытий резонатора Фабри – Перо, а при некотором упрощении задача сводится к одной переменной которая, в свою очередь, пропорциональна модулю разности толщин;

- нахождение критерия по показателю оптического преломления для эффективной оптической модуляции инжекционного гетеролазера;

- нахождение основного критерия толщин пьезопленок противоположных зеркал резонатора Фабри – Перо излучения для увеличения глубины амплитудной модуляции мощности излучения инжекционного гетеролазера;

- нахождение функции смещения толщины пьезопленки, с учетом шунтирующего сопротивления электронной модели, при взаимодействии переменного поля электрической напряженности с пьезопленочным покрытием;

- нахождение двух дополнительных критериев толщин пьезопленок необходимых для повышения КПД мощности излучения лазерного диода при работе с цифровым сигналом и уменьшения нелинейного искажения при работе с аналоговым сигналом;

- разработка электронного устройства контроля нанесения пленочных покрытий;

- исследование зависимости мощности излучения от величины напряженности поля с учетом используемого материала пьезопленок резонатора Фабри – Перо;

– разработка оптического усилителя на основе лазерного модулятора с применением просветляющих пленочных покрытий для осуществления амплитудной модуляции мощности излучения оптического генератора.

**Методы исследования.** При решении поставленных в работе задач были использованы теоретические основы полупроводниковой лазерной техники, электроники, электротехники, оптоэлектроники и кристаллографии.

**Научная новизна** работы заключается в(о):

- впервые предложенном методе модуляции излучения п/п лазера, осуществляемого временным изменением среднегеометрического коэффициента просветленного резонатора Фабри – Перо, за счет варьирования толщин пьезопленок, при этом плотность тока накачки выше порогового значения и равна константе;
- комплексном исследовании взаимодействия возбуждающего поля электрической напряженности и п/п лазерного амплитудного модулятора с нанесенными просветляющими покрытиями, обладающими обратным пьезоэффектом;
- увеличении частоты модуляции за счет простого согласования поля СВЧ с п/п-лазерным модулятором.

**Основные положения,** предъявляемые к защите:

- результаты исследований по влиянию толщин просветляющих покрытий на мощность излучения п/п лазера;
- результаты исследований по изменению среднегеометрического коэффициента резонатора Фабри – Перо от показателя преломления диэлектрического материала пленочных покрытий;
- подбор пьезоматериала и исследование смещения пленки под влиянием СВЧ поля электрической напряженности;
- результаты исследований излучения усилителя на основе п/п лазерного модулятора;
- новый способ технологического контроля при нанесении просветляющих или антипросветляющих покрытий;
- экспериментальные результаты по амплитудной модуляции мощности излучения лазерного диода, полученные путем воздействия напряженности электрического поля на просветляющие пьезопокрытия зеркал резонатора;
- два новых способа создания пьезопокрытий;
- рекомендации по созданию новых оптических приборов с применением пьезопленочной технологии для радиотехнических и телевизионных систем и устройств.

**Практическая значимость** работы заключается в:

- расширении интервала используемых частот оптического сигнала

за счет увеличения частоты модуляции;

- увеличения соотношения сигнал/шум и стабилизация спектральных характеристик благодаря отсутствию временного изменения плотности тока накачки полупроводникового излучателя;
- разработке технологий нанесения пленочных покрытий;
- разработке рекомендаций по созданию новых видов излучателей с использованием пьезопленок для радиотехнических и телевизионных систем и устройств;
- разработке электронного устройства технологического контроля нанесения пленок.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- VIII International School on Vacuum, Electron & Ion Technologies, Varna, Bulgaria, 1993;
- XI Всероссийской конференции "Взаимодействие ионов с поверхностью", Москва, 7-10 сентября 1993;
- Научно-технической конференции "Цивилизация, независимость, человек", Ташкент, ТЭИС, 29-30 марта 1994;
- Первой международной конференции посвященной 600 летию Мирзо Улугбека "Информатизация Республики и новые информационные технологии", Ташкент, АН РУз, НПО "Кибернетика", 1994;
- Научно-технической конференции "Развитие и цифровизация связи Республики Узбекистан", Ташкент, ТЭИС и НПО "Кибернетика", 1994;
- IX International Conferension on Ion Beam Modification of Materials, Canberra, 1995, Australia;
- X International Colloquium on Plasma Processes, Antibes, France, 1995;
- XII Международной конференции "Взаимодействие ионов с поверхностью", Звенигород, 5-8 сентября, 1995;
- Научно-технической конференции "Современные проблемы телекоммуникации Республики Узбекистан и интеграции науки с производством", Ташкент, ТЭИС, 27-28 сентября 1995;
- IV Всероссийской конференции по модификации свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц, Томск, Россия, 1996;
- Научно-технической конференции "Проблемы информатики и управления, перспективы их решения". Ташкент, АН РУз, НПО "Кибернетика", 1996.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 127 страниц.

Работа содержит 40 рисунков включая графики, 4 таблицы, а также список литературы из 135 наименований.

## Основное содержание диссертации

**Во введении** обоснована актуальность разработки и исследований усилителя-модулятора оптического сигнала, сформулированы цель и задачи работы, показаны ее новизна и научно-практическая ценность.

**Первая глава** диссертации содержит краткий литературный обзор по инжекционным п/п лазерам. В ней даны основные понятия и уравнения для инжекционного п/п лазера, являющиеся базовыми для расчетов в диссертационной работе. Рассмотрены планарные и непланарные гетероструктуры, их свойства и технология изготовления. Рассматриваются ватт-амперная и спектральные характеристики лазерной структуры с поперечным р-п переходом (TJS-лазер), обосновывается выбор TJS-лазера в качестве базового для дальнейших исследований в диссертационной работе.

**Вторая глава** посвящена двум основным видам п/п оптических усилителей - УБВ и усилителю с преобразованием. В ней анализируется УБВ с просветленными гранями и делается его сравнение с регенеративным усилителем, исходя из которого выявлено большое преимущество УБВ - широкий динамический диапазон. Например, в диапазоне усиления до 20 дБ, отношение сигнал/шум гораздо выше в УБВ, кроме того, для него достижимо улучшение чувствительности приемного устройства на 13 дБ в диапазоне 1,55 мкм на скорости передачи сигнала данных порядка 1 Гбит/с. Таким образом, обосновывается почему прототипом был выбран УБВ.

Далее приводятся расчеты выходного сигнала УБВ, с учетом зависимости показателя преломления от величины интенсивности волны. В приведенных исследованиях не игнорируется факт фазовой модуляции выходного излучения вследствие зависимости показателя оптического преломления от интенсивности усиленной волны. На основании теоретических исследований выявляются два существенных недостатка УБВ, во-первых, для усиления без нелинейного искажения аналогового сигнала мощности излучения, выходной сигнал не должен быть больше входного в сто раз, а во-вторых, выходной сигнал мощности принципиально не может быть больше входного более чем в тысяча раз из-за ограничения по спонтанному шуму.

Рассмотрен лазерный источник излучения с токовой модуляцией. Кратко обоснованы причины по которым нельзя модулировать п/п лазер источником напряжения с низким внутренним сопротивлением:

**Третья глава.** В ней изложены расчеты и графики зависимостей характеристик п/п лазера с пьезопленочными просветляющими зеркалами резонатора. Предлагается новый способ оптического усиления, суть которого заключается в воздействии электрического напряженности поля на модулятор – п/п лазер с нанесенными на резонатор прозрачными пленочными покрытиями из пьезоматериалов. Воздействие на модулятор нестационарного поля, ввиду обратного пьезоэффекта, вызовет временное изменение толщин пьезопленок, следовательно и среднегеометрического коэффициента плоскопараллельного резонатора. В свою очередь, мощность излучения есть функция среднегеометрического коэффициента поэтому, при воздействии поля, она окажется промодулированной по амплитуде.

Для обоснования выбора необходимого значения показателя преломления пьезопленок, исследуется равенство для мощности оптического излучения. Показано, что диапазон варьирования среднегеометрического коэффициента максимален для двух случаев: при  $n_2 \rightarrow \infty$  и при  $n_2 = |\sqrt{n_1}|$ , где:  $n_1, n_2$  – показатели преломления активной среды п/п лазера и материала пленки соответственно. Если  $n_2$  стремится к большой величине, то функция выхода  $F$  стремится к нулю, что крайне нежелательно, так как, во-первых, с увеличением среднегеометрического коэффициента падает ватт-амперная эффективность излучения (а значит и КПД), а во-вторых, с изменением толщин пьезопленок меняется наклон ВАХ излучения п/п лазера, что в свою очередь, ведет к нелинейным искажениям. Если принять выборку  $n_2 = |\sqrt{n_1}|$ , то ввиду того, что п/п лазер имеет чрезвычайно малые значения длины резонатора  $L$  и показателя поглощения  $\alpha$  равенство для функции выхода:

$$F = \left[ 1 + \frac{2\alpha L}{\ln(1/(R_n R_n))} \right]^{-1} \approx 1,$$

при любых толщинах, меняющихся во времени пьезопленок, т.е. наклон ВАХ при этом не меняется и, при расчете мощности, влиянием функции выхода можно пренебречь. Материал активной среды – арсенид галлия имеет показатель преломления 3,34, поэтому в качестве вещества пьезопленки хорошо подходит галлат лития с показателем преломления 1,72.

В общем случае, среднегеометрический коэффициент отражения Фабри – Перо резонатора (а значит и мощность излучения) являются функцией двух переменных – толщин левой и правой пьезопленок

Однако, задачу на отыскание мощности излучения можно упростить, приняв во внимание тот факт, что размеры п/п-лазера очень малы по сравнению с длиной волны СВЧ поля (даже субмиллиметрового диапазона). Иными словами, электрическую напряженность поля в пределах резонатора можно считать независимой, от координат, величиной, – т. е. она практически одна и та же на противоположных торцах резонатора. Если предположить, что материал пьезопленок на обоих торцах из одного и того же вещества, а толщины при отсутствии возмущающего поля равны (или примерно равны) друг другу, т. е.  $X_n = X_n$ , то воздействие поля вызовет одновременное сжатие пьезопленки с одного торца и растяжение противоположной пьезопленки с другого торца, причем смещения  $\Delta x$  по модулю для обеих пленок окажутся одинаковыми. С учетом изложенного, получаем равенство для мощности излучения п/п лазерного модулятора:

$$P(t) = \frac{h\nu}{e} \left\{ I - \frac{Lw}{\beta} \left[ \alpha + \frac{1}{L} \ln \left( \left( \sqrt{\frac{n_2^2(n_1 - 1)^2 - (n_1^2 - n_2^2)(n_2^2 - 1) \sin^2(k(X_n - \Delta x(t)))}{n_2^2(n_1 + 1)^2 - (n_1^2 - n_2^2)(n_2^2 - 1) \sin^2(k(X_n - \Delta x(t)))}} \right) \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \times \sqrt{\frac{n_2^2(n_1 - 1)^2 - (n_1^2 - n_2^2)(n_2^2 - 1) \sin^2(k(X_n + \Delta x(t)))}{n_2^2(n_1 + 1)^2 - (n_1^2 - n_2^2)(n_2^2 - 1) \sin^2(k(X_n + \Delta x(t)))}} \right) \right] \right\}$$

где:  $I$  – постоянный ток инжекции;  $w$  – ширина полоски;  $\beta$  – дифференциальный коэффициент пропорциональности;  $k = 2\pi/(\lambda n_2)$  – волновое число ( $\lambda$  – длина волны излучения п/п лазера). Графики зависимостей мощности оптического излучения модулятора от функции смещения показаны на рис. 1. График 1 соответствует лазерному диоду с одним просветленным зеркалом, т. е. пьезопленка нанесена только на один торец резонатора. В этом случае коэффициент преломления непросветленного торца, естественно, не зависит от времени и равен 0,291. График 2 соответствует п/п лазеру с обоими просветленными торцами. Как видно из рисунка, диапазон изменения мощности графика 2 в два раза шире. Величина произведения подкоренных выражений в представленном равенстве является среднегеометрическим коэффициентом отражения  $R = \sqrt{R_n R_n}$  зеркал



плоскопараллельного резонатора. Очевидно, диапазон варьирования этого коэффициента максимален только в том случае, если воздействие поля в любой момент времени не изменит равенство величин коэффициентов отражения левого и правого зеркал, т. е.:  $R_{nl}(t) = R_{rn}(t)$ . Отсюда следует, что для увеличения диапазона изменения сигнала мощности оптического излучения модулятора, толщины должны удовлетворять основному критерию:

$$X_n = m \lambda / (2 n_2) + a; \quad X_n = p \lambda / (2 n_2) - a,$$

где:  $m, p = 1, 2, 3, \dots$ ;  $a$  - любое число. Нахождение двух дополнительных критериев, являющихся частными случаями основного критерия, необходимо для увеличения КПД при цифровой передаче и уменьшения нелинейного искажения, обусловленного нелинейностью зависимости мощности излучения при аналоговой передаче сигналов. Критерий для цифровой передачи информации имеет вид  $X_{n,n} \approx N \lambda / n_2$ , где  $N = 1, 2, 3, \dots$ . Для аналоговой передачи, толщины должны удовлетворять критерию  $X_{n,n} \approx (2N + 1) \lambda / (4 n_2)$ , здесь знак " $\approx$ " означает, что толщины  $X_{n,n}$  не должны строго соответствовать нижним экстремумам.

Дан вывод зависимости функции смещения пьезопленки от приложенной электрической индукции гармонического поля. Для нахождения этой зависимости предлагается электронная модель пьезопленки с шунтирующим сопротивлением посредством которого учитываются потери на тепло, подводимой энергии поля. Вывод функции смещения позволяет найти зависимость между величинами мощности излучения и электрической напряженности поля. Функция смещения пьезопленки с учетом тепловых потерь имеет следующий вид:

$$\Delta x(t) = \frac{D_x(t) \frac{h_{33}}{c_{33}^D} \sqrt{\frac{c_{33}^D}{\rho}} \operatorname{tg} \left( \frac{\omega X_{n,n}}{2} \sqrt{\frac{\rho}{c_{33}^D}} \right) R_w}{\sqrt{R_w^2 + \left[ \frac{2k_1^2 \beta_{33}^S}{\omega^2 S_n} \sqrt{\frac{c_{33}^D}{\rho}} \operatorname{tg} \left( \frac{\omega X_{n,n}}{2} \sqrt{\frac{\rho}{c_{33}^D}} \right) \right]^2}}$$

где:  $D_x(t) = D_0 \cos(\omega t)$  -  $x$ -компонента гармонического поля электрической индукции;  $c_{33}^D$  - матричный элемент тензора модулей упругости, измеренный при постоянной электрической индукции;  $h_{33}$

– матричный элемент тензора пьезоэлектрических коэффициентов;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота;  $\rho$  – плотность пьезоматериала пленки;  $R_{ш}$  – номинал шунтирующего сопротивления электронной модели пьезопленки;  $\beta_{33}^S$  – компонента тензора диэлектрической непроницаемости, измеренная при постоянной деформации;  $S_n$  – площадь поверхности пьезопленки;  $k_1^2$  – статический коэффициент электромеханической связи, характеризующий эффективность преобразования электрической и механической энергий. На рис. 2 показаны графики зависимостей функции смещения от круговой частоты гармонического поля  $x$ -компоненты вектора электрической индукции. График 1 соответствует идеальной пьезопленке без потерь, функция стремится к  $\mp\infty$  при резонансной частоте  $\omega_n$ . График 2 соответствует пьезопленке с потерями, на резонансной частоте функция смещения имеет два экстремума.

Приведен простой вариант разработанного нами амплитудного лазерного модулятора, который может быть использован для передачи телевизионных сигналов. Он состоит из лазерного диода, просветляющих пленочных покрытий из материала, обладающего обратным пьезоэффектом и внешних металлических обкладок конденсатора. Резонатор лазерного диода расположен перпендикулярно обкладкам конденсатора. Поскольку п/п лазер излучает с двух сторон, для предотвращения оптических потерь, энергия излучения оптоволоконными снимаются с противоположных металлических отверстий конденсатора. Затем оптоволокна сплавляются под определенным углом для того, чтобы оптический сигнал мог поступать к ВОЛС с единого волокна. Для охлаждения п/п лазера, кристалл полупроводника соединен с металлическим теплоотводом. Для упрощения расчетов размеры обкладок конденсатора считаются большими по сравнению с п/п лазером, причем между обкладками отсутствует какой-либо диэлектрик (кроме кристалла лазера, который можно не учитывать), т. е. конденсатор можно считать полым. Модуляция осуществляется посредством подачи на обкладки конденсатора электрического напряжения гармонического сигнала с частотой резонанса пьезопленок. Далее, исходя из теории кристаллографии, дается обоснование почему в качестве покрытий лазерного диода в принципе могут быть использованы вещества с центральносимметричной структурой (электрострикционные материалы), хотя у них пьезоэффект явно не выражен. Недостатком использования электрострикционных материалов является необходимость в наличии очень большого поля смещения.

В работе произведены расчеты по КПД. Показано, что при цифровой передаче, рассматриваемый модулятор не уступает п/п

лазеру с токовой модуляцией. Для аналоговой передачи, КПД модулятора может доходить до 0,4, однако для этого потребуются специальное электронное устройство – усилитель предыскажений. Если повышенное значение КПД не критично (не более 0,2), то благодаря высокой линейности зависимости мощности излучения от толщин  $X_{n,l}$  в области нижнего экстремума, выходное излучение практически не имеет нелинейных искажений в достаточно широком диапазоне. Преимущество данного модулятора по сравнению с п/п лазером с токовой модуляцией – высокая, по крайней мере на порядок большая, частота модуляции. Например, пьезопленка из ниобата лития, при толщине пьезопленки меньше 1 мкм, может возбуждать поверхностную акустическую волну (ПАВ), частота которого может доходить до 70 ГГц. Следует отметить, что линейность между величинами напряженности поля и смещения тем выше, чем толще пьезопленка. Отсюда следует, что у п/п лазеров оптического и ультрафиолетового диапазона можно осуществить более эффективную модуляцию, так как для них требуются меньшие величины смещений пьезопленок. Между тем, для п/п лазеров диапазона

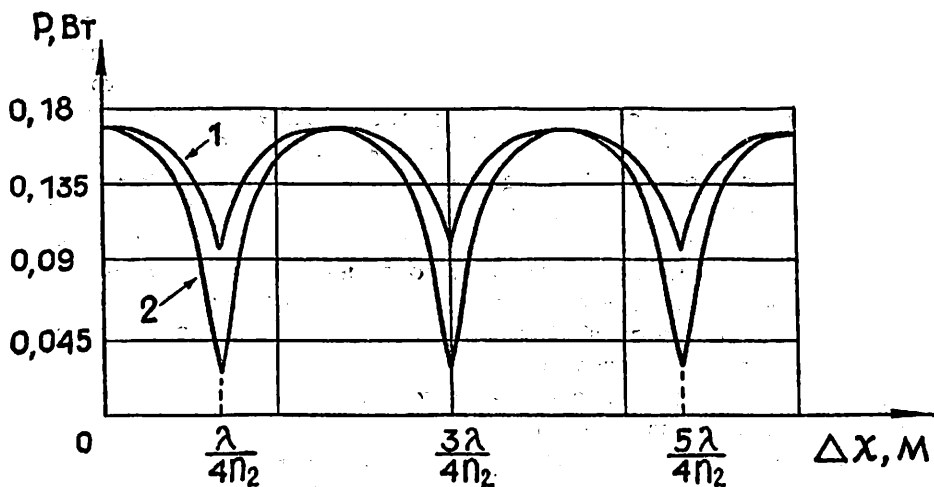


Рис. 1. Зависимость мощности излучения  $P$  п/п лазерного модулятора от функции смещения  $\Delta x$  толщин пьезопленок: 1 – пьезопленка нанесена на одно зеркало резонатора; 2 – пьезопленки нанесены на оба зеркала резонатора.

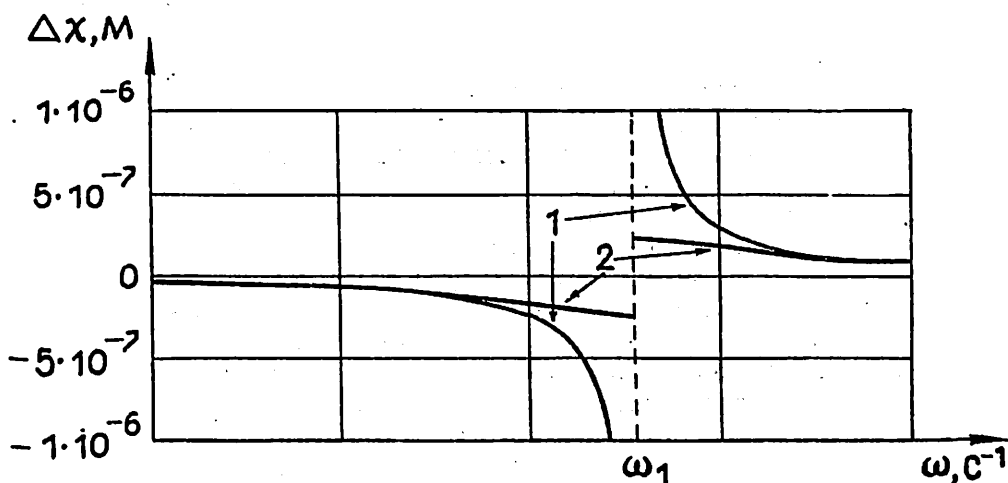


Рис. 2. Графики зависимостей функции смещения  $\Delta x$  пьезопленки от круговой частоты возмущающего поля  $\omega$  электрической индукции: 1 – без тепловых потерь; 2 – с учетом тепловых потерь.

0,8 – 1,6 мкм, чтобы получить близкую к 100% глубину модуляции, достаточно величины амплитуды смещения не более 0,2 мкм.

Приводится принципиальная схема практически собранного оптического усилителя. Для контроля выходного сигнала также приведена схема преобразователя приемного устройства на основе фотодетектора. Из сравнения вольт-амперных характеристик биполярного транзистора и обратносмещенного фотодетектора показано, что оптопара "п/п лазер – фотодиод" может работать как усилитель тока управляемый фототоком (или, при соответствующем выборе режима работы фотодиода – усилитель напряжения управляемый фототоком). Очень малая емкость обратносмещенного р-і-п диода, и практически безинерционность п/п лазера, открывают большие возможности в плане применения оптопары "п/п лазер-фотодиод" как усилителя электрического сигнала в устройствах СВЧ. Практически параллельная оси абсцисс зависимость вольт-амперной характеристики обратносмещенного фотодиода особенно полезна при построении электронных резонансных усилителей.

**В четвертой главе** приводится описание электронного устройства контроля нанесения пленок (УКНП) и даны рекомендации по использованию пьезопленочной технологии для создания новых видов п/п лазерных излучателей.

Приведена принципиальная схема и дано описание УКНП. Основой электронного устройства является, предложенный автором, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) построенный на двоичном счетчике K561IE10 и матрице  $R - 2R$ . Матрица обладает замечательным свойством: если на ее  $n$ -разрядный вход подать двоичный код, то на выходе матрицы появится напряжение прямо пропорциональное данному коду. Следовательно, соединив  $n$ -разрядный выход счетчика с  $R - 2R$  матрицей, можно реализовать генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) с высокой линейностью (на частотах до 100 Гц ГЛИН, линейность 100%-ая). Увеличения выходного кода счетчика на единицу, увеличивает напряжение выхода матрицы на шаг дискретизации. Полный размах сигнала ГЛИН состоит из 511 ступенек (шагов дискретизации). Интересно отметить, что если использовать реверсивный счетчик (типа K561IE11), то можно создать такой АЦП, выход  $R - 2R$  матрицы которой будет всегда повторять входной (аналоговый) сигнал с точностью до шага дискретизации. В этом случае, выход компаратора сравнивающего входной сигнал с выходным напряжением  $R - 2R$  матрицы, через соответствующую цепь развязки, следует подключить ко входам прямого и обратного счета реверсивного счетчика. Тогда, в зависимости от состояния компаратора, счетчик будет увеличивать или, наоборот, уменьшать счет. УКНП позволяет автоматизировать процесс пленочного осаждения (или выращивания) и автоматически останавливать технологический процесс при необходимой толщине пленки. С помощью УКНП неоднократно проводился процесс напыления просветляющих пленок, при этом значительно облегчается и ускоряется технологический процесс. Многократные испытания электронного устройства показали его высокую эффективность и надежность в работе.

В работе затронуты вопросы технологии пьезопленочных покрытий. Предлагается два метода, в которых просветляющие пьезопокрытия создаются отдельно от п/п лазера. Затем, просветляющие пьезопокрытия клеются иммерсионным составом к плоскопараллельным резонаторам. Создание пленочных покрытий из кристаллических срезов пьезокристалла обусловлено их способностью растворяться в кислотах. Приведены экспериментальные сведения по созданию п/п лазерного модулятора с применением срезов кварцевых пластин. Показано, что склеивающий состав должен иметь коэффициент оптического преломления, или близкий по значению к

коэффициенту преломления пьезопокрытия, или, что еще лучше, к коэффициенту преломления активной среды кристалла лазера.

В радиотехнических устройствах, рассматриваемый модулятор рекомендуется использовать для приемной антенны, состоящей из параболического рефлектора и рупорного облучателя. Для трансформации сигнала в кабель, внутри рупора традиционно используются штырь-вибратор, петля и т. д. Использование же вместо них п/п лазера с пьезопленками зеркал, дает уменьшение потерь, так как затухание сигнала в оптоволокне на несколько порядков меньше, чем в кабеле снижения. При этом модуляция осуществляется внутри рупора, сконцентрированной, параболическим рефлектором, электромагнитной волной.

Конструктивно более сложным вариантом модулятора является излучатель, также состоящий из п/п лазера и просветляющих пьезопленочных покрытий, но отличающийся от уже рассмотренного модулятора тем, что у него электрический сигнал подводится к осцилляторам ПАВ (а не к обкладкам конденсатора). Автором также рекомендовано использовать пьезопленки для реализации лазеров, где распределенная обратная связь (РОС) осуществляется за счет ПАВ. По сравнению с традиционными лазерами с РОС, в структурах где РОС (или т. наз. РБО) создается благодаря ПАВ, имеется возможность в некоторых пределах изменять длину акустической волны и, тем самым, регулировать частоту оптического излучения.

Приведены рекомендации по использованию пьезопленок для регулировки частоты оптического излучения в излучателях с оптически связанными плоскопараллельными резонаторами, – в т. наз.  $C^3$ -лазерах. В этом случае пьезопленки на зеркалах резонаторов не являются ни просветляющими ни антипросветляющими, так как  $n_2 = n_1$ . Регулирование частоты излучения в  $C^3$ -лазерах осуществляется благодаря изменению эффективных длин оптически связанных резонаторов (под эффективной длиной резонатора понимается сумма длины резонатора п/п лазера и толщины пьезопленки). Эффективные длины резонаторов меняются под воздействием поля электрической напряженности, а частотная селекция связанных резонаторов, в свою очередь, зависит от эффективных длин, следовательно, длина волны излучения  $C^3$ -лазеров может регулироваться полем.

Пьезопленочные просветляющие покрытия могут быть использованы не только в оптических генераторах, но и в УБВ. Регулировка толщин посредством воздействия статического поля электрической напряженности на пьезопленки позволит, в этом случае, минимизировать френелевское отражение (зависящее от длины волны падающего излучения) торцов п/п лазера, тем самым улучшить характеристики УБВ.

Многие типы сегнетоэлектриков обладают явно выраженными гистерезисными свойствами, т. е. при влиянии на них поля электрической напряженности эти материалы деформируются, но впоследствии деформация формы еще долго сохраняется даже при полном снятии поля. Свойства этих материалов запоминать свое состояние, может быть использовано для создания элементов оптической логики. Например, рекомендуется их использование для реализации оптического триггера. Пусть при подачи поля с заданным вектором электрической напряженности, противоположно нанесенные сегнетоупленки имеют такие толщины при котором мощность излучения п/п лазера максимальна. Снятие поля не изменит величину мощности излучения, так как толщины пленок не изменятся благодаря памяти формы материала. Для того чтобы уменьшить (или полностью снять) величину мощности излучения, необходимо вернуть толщины пленок в первоначальное состояние, для чего нужно снова подать поле электрической напряженности, но с противоположным направлением вектора. Современные п/п лазеры в микросхемном исполнении имеют сверхмалые (микроамперные) значения порогового тока, поэтому рассмотренный триггер вполне может быть использован в приборостроении, например, в качестве быстродействующего элемента оптической памяти.

Пьезопленки могут найти применение для усиления и модуляции не только оптического, но и электрического сигнала. Рассмотрим диэлектрическую пленку на противоположные стороны которого нанесены металлические электроды. Если толщина пленки соизмерима с длиной волны электронов металла, то благодаря квантомеханическому эффекту туннелирования, имеется некоторая, отличная от нуля, вероятность переходов электронов с одного электрода на другой. Иными словами, при подачи электрического напряжения, несмотря на то, что между электродами находится слой высокоомного диэлектрика, через устройство пойдет туннельный ток. Вектор плотности этого тока находится в сильной зависимости от толщины диэлектрика. Поскольку пленка сделана из пьезоматериала, то воздействуя полем электрической напряженности, или, возбуждая ПАВ, тем самым меняя расстояние между электродами, можно управлять величиной туннельного тока, т. е. модулировать или усиливать электрический сигнал. Модулятор туннельного тока может быть использован в качестве малошумящего радиотехнического устройства.

**В заключении** сформулированы основные выводы диссертационной работы.

1. Показано, что величина показателя оптического преломления пьезопленки должна быть близка к величине модуля квадратного

корня показателя преломления активной среды кристалла. Дано обоснование в нецелесообразности использования пьезопленочного покрытия с большой величиной показателя преломления.

2. Найден основной критерий толщин пьезопленочных покрытий, при соблюдении которого диапазон варьирования мощности излучения максимален.

3. Найдена зависимость мощности излучения п/п лазерного модулятора от толщин пьезопленочных просветляющих покрытий.

4. На основании электронной модели, посредством которой учитываются тепловые потери, найдена зависимость функции смещения толщины пьезопленки от величины вектора электрической индукции. При этом функция смещения на резонансных частотах не стремится к бесконечности, а пропорциональна номиналу шунтирующего сопротивления.

5. Найдены два дополнительных критерия для повышения КПД модулятора при передаче цифрового сигнала и минимизации нелинейного искажения, обусловленного нелинейной зависимостью плотности порогового тока от величины смещения пьезопленок. При цифровой передаче сигналов  $КПД \approx 0,5$

6. Установлено, что для повышения частоты модуляции необходимо, или уменьшать толщину пьезопленки, или,  $N$ -кратно относительно первой резонансной частоты (гармоники), увеличить частоту гармонического поля электрической индукции.

7. Обосновано, что модуляция посредством воздействия поля электрической напряженности на п/п лазер с пьезопокрытиями дает выигрыш, по крайней мере на порядок, по частоте модуляции, а также имеет преимущество по соотношению сигнал/шум.

8. Разработано и собрано электронное устройство нанесения пленок, позволяющее сократить по времени и автоматизировать технологический процесс. Основой устройства является АЦП на счетчике и резистивной матрице  $R - 2R$ .

9. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие возможность практической реализации п/п лазерного модулятора. Разработан и собран оптический усилитель, в котором функцию просветляющего покрытия п/п лазера выполняет фрагмент кварцевой пластинки. Собрана экспериментальная установка, в которой роль просветляющего покрытия выполняет испаряющийся слой жидкости.

10. Предлагается использовать п/п лазерный модулятор в технике радиосвязи в качестве приемного устройства, а также даны рекомендации по использованию пьезопленочной технологии для создания новых лазерных излучателей.

**В приложениях** даны теоретические основы п/п лазера



(приложение 1)), а также вывод уравнений смещения и импеданса пьезопленки (приложение 2).

### **Публикации по теме диссертации.**

1. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М. Использование просветленного лазера в качестве усилителя бегущей волны // Научно-техническая конференция "Цивилизация, независимость, человек". Тезисы докладов, Ташкент, ТЭИС, 1994, с. 121.

2. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М., Хайдаров А. В. Усилитель бегущей волны на основе инжекционного лазера // Научно-техническая конференция. Тезисы докладов, Ташкент, ТЭИС и НПО "Кибернетика", 1994, с. 74.

3. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М. Полупроводниковые усилители оптического сигнала // Первая международная научно-техническая конференция "Информатизация республики и информационные технологии", посвященная 600 летию Мирзо Улугбека. Сб. тезисов докладов, Ташкент, АН РУз, НПО "Кибернетика", 1994, с. 71.

4. Аббаров С. М., Раджабов Т. Д., Хайдаров А. В. Устройство для просветления торцов инжекционного лазера // Узбекский физический журнал. Ташкент, изд-во "ФАН", N5, 1994, с. 60.

5. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М. Электронный усилитель на туннельном эффекте // Научно-техническая конференция "Современные проблемы телекоммуникации Республики Узбекистан и интеграции науки с производством". Сб. тезисов докладов, Ташкент, ТЭИС, 1995, с. 57.

6. Джамалитдинова И. Е., Аббаров С. М. Получение прозрачных покрытий с одновременной ионной бомбардировкой для усилителей оптического сигнала // XII международная конференция "Взаимодействие ионов с поверхностью". Сб. тезисов докладов, Звенигород, 1995, т. 2, с. 209.

7. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М. Полупроводниковый лазер в технике радиосвязи // Научно-техническая конференция "Проблемы

информатики и управления, перспективы их решения". Сб. тезисов докладов, Ташкент, АН РУз, НПО "Кибернетика", 1996, с. 15.

8. Раджабов Т. Д., Аббаров С. М. Полупроводниковый лазерный усилитель // Узбекский физический журнал. Ташкент, изд-во "ФАН", N2, 1996, с. 49 – 56.

9. Аббаров С. М. Полупроводниковый лазерный усилитель с просветляющими покрытиями из пьезоматериала // Радиотехнические системы и устройства. Сб. научных трудов. Ташкент, ТЭИС, 1996, с. 59.

10. Аббаров С. М. Оптопара "лазер-фотодиод" для электронного усиления // Радиотехнические системы и устройства. Сб. научных трудов. Ташкент, ТЭИС, 1996, с. 64.

11. Патент ИН DP 57.000.01, дата приоритета от 19 января 1996 г.: Оптический усилитель. Авторы – Раджабов Т. Д., Аббаров С. М., Хайдаров А. В.

## **Оптик толалар чизиқлари алоқасининг кучайтиргич-модуляторини тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш.**

Диссертацион ишда оптик кучайтиргич-модуляторнинг Фабри - Перо резонатори пьезопардалари билан тиниқлаштирилган инжекцион яримўтказгич лазер асосида тадқиқот ишлари олиб борилган ва унинг ишланмаси изоҳланган. Изланишимиз шундан далолат берадики, СВЧ майдонининг бевосита таъсири натижасида тузилмада амплитуда модуляцияси содир бўлган. Шу билан бирга пардаларнинг қайта пьезоэффeklаниши жараенида уларнинг қалинлиги, айна пайтда, текис параллел резонаторнинг ўртача геометрик коэффициент инкоси ҳам вақт функциясига айланиб боради. Чунки, яримўтказгич лазер қувватининг нурланиши ўртача геометрик боғлиқда бўлганлиги учун, майдон пьезопардаларга ўз таъсирини ўтказиб, оптик сигнали модуляцияси намоен бўлади. Мунтазам яримўтказгич инжекцион лазерининг электр токи, бизнинг фикримизча, ретрансляция вақтидаги кўп мўаммоларни ечиб бериши мумкин, айна бир пайтда, СВЧ майдони билан модуляторнинг ўзаро оддий мослашуви модуляция тезлигини кўп миқдорда ошиб бориши учун имқон яратади.

### **Working out and investigation of amplifier-modulator of optofiber lines connection.**

Optical amplifier-modulator on the basis of injectable semiconductor laser with antireflected piezocoatings (piezofilms) of Fabry - Perot resonator is worked out and investigated in present work. Amplitude modulation of device is realized by means of affecting of electric tension of HFMR field. Due to the back piezoeffect of films their thickness and consequently the average geometrical reflection coefficient of flat parallel resonator becomes the functions of time. Since the power of radiation of semiconductor laser depends on average geometrical reflection coefficient while the affect of the field on the piezocoatings the output optical gain modulation on the amplitude. Constant current of injection of semiconductor laser, on our sight, solves many problems appearing when retranslating and simple coordination of HFMR fields with modulator allows to increase more than ten times the frequency of modulation.

---

Подписано в печать 13.05.84 г. Формат 60x84  
Бумага №1 оперативная печать печ.л.0,75  
Отпечатано на ротопринтере в ТЭИС зак.276-100-97  
Ташкент-84, ул. Амира Темура, 108