МІНІСТЕРСТВО ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім.О.С.ПОПОВА

На правах рукопису

ПАНФІЛОВ МАКСИМ ІВАНОВИЧ

УДК 621.383:535.218

МОДУЛЯЦІЯ СВІТЛОВИХ ПОТОКІВ ВІЛЬНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ

05.12.20 - Оптоелектронні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1997

535.14:681.7

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00738124 (Р)

Роботу виконано в Укра... ім.О.С.Попова.

Науковий керівник - лауреат Державної премії України, доктор фізико-математичних наук, професор Чайка Г.Е.

Науковий консультант - кандидат технічних наук, професор Макаров Т.В.

Офіційні опоненти - заслужений діяч науки та техніки України, доктор технічних наук, професор Гостєв В.І.

- кандидат технічних наук старший науковий співробітник Левченко Г.П.

Провідне підприємство - Одеський державний політехнічний університет.

Захист відбудеться "11" липня 1997 року о 10-00 годині на засіданні Спеціалізованої Ради К05.1209 Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова.

Адреса: Україна, 270021, м.Одеса, вул.Кузнечна, 1.

З дисертаційною роботою можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова.

Автореферат розіслано "10" червня 1997 року.

Вчений секретар
Спеціалізованої Ради К05.1209
кандидат технічних наук,
професор П.П.Воробієнко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одна з характерних рис прогресу кінця XX століття - зростаючі потреби в обробці, передаванні та збереженні інформації. Широкосмуговість та двовимірність електромагнітних коливань оптичного діапазону, доступність візуальному сприйняттю, електрична нейтральність фотонів найкращим чином відповідають обробці та передаванню великих масивів інформації. Одним з прикладів таких систем є волокинно-оптичні системи передавання. Їх особливість - гранично великі щільності інформації у каналі й гранично високі швидкості її передавання, недосяжні електронними методами. Ефективність оптичних методів передавання інформації на декілька порядків вища, ніж електронних, причому тут можлива обробка різних складних сигналів при високій розв'язці між сусідніми каналами. Тому стає очевидним бурхливий розвиток нового напряму електроніки - оптоелектроніки. Отримують подальше дослідження фізичні принципи використання світла в системах обробки, збереження, передавання, приймання і відображення інформації, виявляються нові функціональні можливості, на основі яких можуть бути створені більш досконалі прилади.

Носієм інформації в оптичних системах передавання, що оперують в динамічному режимі, є модульований в часі та в просторі світловий промінь. Тому просторово-часові модулятори світла є одним з ключових елементів інтегральної оптики, а отже, і зрозумілий зрослий інтерес до проблем модуляції світла.

Формування та перетворення за допомогою модуляторів двовимірних масивів інформації, що представляється в цифровій (бінарній) або аналоговій формах, лежить в основі створення оптичних запам'ятовуючих і периферыйних пристроїв, когерентних оптичних процесорів і інших найважливіших вузлів інформаційних та обчислювальних систем. Функціональна роль модуляторів світла в них надто багатогранна: відображення інформації, увід-вивід, формування і

ЛНБ ім. В. Стефаника

перетворення масивів оптичних сигналів, реалізація логічних операцій, реєстрація просторового розподілу оптичних сигналів, візуалізація зображення, кодування і розпізнавання, перетворення за амплітудою і фазою, частотою, за когерентністю несійної, підсилення інтенсивності зображень, фільтрація, що перебудовується, обробка зображень і т.д.

Використовувані принципи модуляції світла давно і широко відомі в оптиці. У багатьох випадках вони базуються на зміні дійсної чи уявної частини діелектричної проникливості середовища, що призводить відповідно до модуляції фази чи амплітуди проходячого світла. Модуляція також можлива при деформації (внутрішньої пружної чи зовнішньої геометричної) чи структурних змінах середовища, що призводять до локальної зміни показника заломлення чи рельєфу поверхні матеріалу, до обертання площини поляризації світлової хвилі чи до зміни здатності середовища розсіювати світло. До останнього часу створені різноманітні типи модуляторів світла, що базуються в основному на електрооптичних і магнітооптичних ефектах. Найбільшого поширення дістали модулятори, що використовують лінійний електрооптичний ефект. Вони ж є найбільш широкосмуговими, однак для їхньої роботи необхідні великі напруги модулюючого сигналу.

Вибір способів модуляції світлового потоку в кожному конкретному випадку визначається виходячи з виду передаваної інформації, вимог до інтенсивності світлового потоку, до глибини модуляції, потужності модулюваного сигналу тощо.

Треба відзначити, що незважаючи на те, що останнього часу велику кількість праць, присвячено теоретичним дослідженням і практичним застосуванням оптичних модуляторів різко зросла, досі не ставало питання про всебічне вивчення взаємодії світлового променя з електронною підсистемою в напівпровідниках.

Дану працю присвячено дослідженню можливості керування світловими потоками за допомогою вільних електронів в напівпровідниках. В основі такого управління лежать два явища - поглинання світлового променя, пов'язане з резонансним переходом електронів у зону

провідності, що призводить до зміни уявної складової показника заломлення, і плазмовий ефект, що змінює дійсну частину показнику заломлення.

Мета роботи та задачі дослідження. Метою дисертації є розробка нових фізичних методів і керування світловими (фотонними) потоками зовнішніми впливами та їхнє технічне застосування в оптоелектронних приладах.

Відповідно до поставленої мети в дисертації розв'язуються наступні задачі:

1. Квазістаціонарне керування шириною каналу з використанням плазмового ефекту в напівпровідниках.

2. Розсіяння світлових хвиль на хвилях просторового заряду (ХПЗ) в просторових і періодично неоднорідних структурах.

3. Використання в електронній оптиці принципів керування світловими променями за допомогою поглинення фотонних потоків вільними та зв'язаними електронами.

4. Числовий розрахунок характеристик керування при зовнішніх впливах.

5. Аналіз різних способів керування фотонними пучками з метою побудови конкретних приладів оптоелектроникі в системах передаванні інформації.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувалися методи обчислювальної математики, теорії диференціальних рівнянь, функціонального аналізу, спеціальних функцій, матричної алгебри, теорії лінійного прогнозування. Провадилися експерименти на ЕОМ.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Показано, що керування світловими потоками за допомогою вільних електронів здійснюється як завдяки поглинанню променя на нерівноважних носіях заряду, так і за рахунок плазмового ефекту.

Встановлено, що при неоднорідному розподілі носіїв досягненим прикладанням електричного поля, світловий потік керується цим електричним полем.

2. Показано, що при зміні показника заломлення за допомогою плазмового ефекту можна направлено керувати падаючим світловим потоком (ділити його за частотами, здійснювати взаємодію різних світлових потоків тощо). При поширенні світлового променя по керованому збіднілому електричними носіями шару, зміна ширини шара дозволяє здійснювати модуляцію інтенсивності променя за рахунок плазмового ефекту. Глибина модуляції при поглинанні світла, яка визначається відношенням ширини збіднілої області й обсягу, буде меншою, ніж при плазмовому ефекті, коли всю модуляцію пов'язано виключно із зміною ширини збіднілого шару. Показано, що плазмове керування забезпечує велику швидкість модуляції.

3. Визначено, що використання хвиль просторового заряду для модуляції оптичного випромінювання сприяє збільшенню смуги частот проходження і швидкодії. При поширенні світла в градієнтному хвилеводі з металевою поверхнею при подачі на нього напруги може здійснюватися модуляція по інтенсивності за рахунок зміни ширини збіднілого шару.

4. Встановлено, що при дифракції світла на хвилях просторового заряду інтенсивність дифракційних порядків визначається як амплітудною модуляцією діелектричної проникливості решітки, так і амплітудною модуляцією провідності зразка хвилями просторового заряду. Показано, що основні властивості дифракції характеризуються швидкістю перекачування енергії з нульового порядку дифракції у вищі порядки при керуванні ступенем виконання умов просторового синхронізму між нульовим і вищим порядком дифракції.

5. Показано, що підбором швидкості перекачування енергії та ступеня виконання умов просторового синхронізму можна добитися переходу умов бреговської дифракції в раман-натовську і навпаки. При оцінці результатів взаємодії світлових хвиль у хвилеводі з n^+–n

структурою за допомогою методу зв'язаних хвиль встановлено, що ефективність модуляції інтенсивності значно вища частотної внаслідок підбору відповідної синхронізуючої гармоніки. При частотній модуляції такий підбір обмежений і сама частота модуляції обмежена. Використання періодичної p–i–p структури і хвиль просторового заряду дозволяє регулювати поведінку променя прикладеною напругою.

Практична значимість роботи. Одержані результати теоретичних досліджень можуть слугувати основою для створення модуляторів з використанням хвиль просторового заряду у вигляді тонкоплівкових пристроїв, виготовлених за вже відомою технологією. При цьому виключаються втрати на перетворення електричного сигналу в акустичні хвилі, зростаючі зі зростанням частоти, як це має місце в акустооптиці кристалів.

Запропоновано методику оптимізації геометрії модуляторів з метою істотного зниження їх розігріву, досягнення більш однорідної модуляції по перетину променя і збільшення її глибини.

Розроблено методику включення в один з хвилеводів змінної p–i–n-структури чи плівки з хвилями просторового заряду, що дає можливість змінювати напрямок поширення хвиль і забезпечувати зворотний зв'язок.

Обгрунтування та вірогідність результатів досліджень.

Методику досліджень модуляції світлових потоків вільними електронами отримано виходячи з передумов, обгрунтованих теорією й практикою аналізу та синтезу оптоелектронних пристроїв.

В опублікованих роботах здобувача дано математично обгрунтовані висновки усіх одержаних результатів, збудовано графічні залежності, проведено кількісний та якісний порівняльний аналіз із відомими в теорії та практиці оптоелектронних систем досягненнями.

Збудовані фізичні моделі й одержані оцінки узгоджуються з результатами комплексних експериментальних і теоретичних досліджень та результатами інших авторів.

Особистий внесок. Питання квазістаціонарного керування зміною ширини каналу при плазмовому ефекті, дифракція світла на ХПЗ і просторово-періодичних неоднорідностях виконані автором самостійно.

Розробку засад дії напівпровідникових модуляторів і керування світловими променями за допомогою вільних електронів виконано у співавторстві.

Реалізація та впровадження одержаних результатів. Одержані теоретичні й практичні результати використовуються в науково-дослідних роботах, що провадяться Українською державною академією зв'язку ім.О.С.Попова і Науково-дослідним центром ЛКС Міністерства зв'язку України. За результатами досліджень напівпровідникових модуляторів ІК випромінювання видано навчальний посібник з курсового та дипломного проектування для студентів.

Апробація результатів роботи. Основні результати теоретичних і практичних досліджень доповідались на щорічних конференціях Української державної академії зв'язку ім.О.С.Попова 1992-1996 рр., на Міжнародній конференції "Телекомунікаційних та інформаційних систем" в Словакії 1994, 1995 рр., на міжнародній конференції "З оптичної діагностики матеріалів і приладів для опто-, мікро- і квантової електроніки", Київ, 1995 р., на "5-ому інтернаціональному симпозіумі з досліджень в мікрохвильовій технології", Київ, 1995 р., на Міжнародній конференції з "Радіозв'язку, відео- і телевізійного мовлення", Одеса, 1995 р.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 робіт.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновку і списка використаної літератури. Текст викладено на 132 сторінках, ілюстровано 22 рисунками. Список літератури містить 118 найменувань на 10 сторінках.

Основні результати і положення, що виносяться на захист

1. Результати дослідження з керування зміною ширини каналу в напівпровідниках при обліку плазмового ефекту, який полягає в тому, що при зміні ширини каналу зростає величина вектора Умова-Пойтінга та зростає амплітуда сигналу.

2. Результати дослідження процесів, що виникають в світловодах, скерованих вільними електронами, при поперечно прикладеному електричному полі.

3. Результати дослідження загальних і часткових умов, необхідних для ефективного розгляду розсіяння світла на хвилях просторового заряду і просторово-періодичних неоднорідностях.

4. Результати дослідження дифракції світла на хвилях просторового заряду в напівпровідниках.

5. Засади застосування методу зв'язаних мод для взаємодії світлових хвиль у хвилеводі з n^+–n структурою.

6. Результати досліджень з використання в оптоелектроніці засад керування світловими променями за допомогою поглинання світла вільними електронами.

7. Практичне застосування зазначених результатів.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено основні положення дисертаційної роботи та короткий зміст за розділами.

У першому розділі розглядаються основні засади дії модуляторів світла, дано огляд існуючої літератури з цих питань. Сформульовано проблему дослідження модуляції світлових потоків вільними електронами в напівпровідниках.

Розглянуто основні засади роботи напівпровідникових модуляторів світла з p–n переходом, до якого прикладено напругу як в прямому напрямку, так і в зворотному. Досліджено залежність ефективності оптичного модулятора від коєфіцієнта поглинання речовини і концентрації вільних носіїв, яка має вигляд

$$\alpha = \frac{Nq^3}{\pi^3 c^3 n\mu m^*}\lambda^2, \qquad (1)$$

де N - концентрація вільних носіїв, m* - їх ефективна маса, μ - рухомість, q - заряд, c - швидкість світла, n - показник заломлення, λ - довжина хвилі випромінювання. Показано, що якщо α змінюється в межах $\alpha_1 \le \alpha \le \alpha_2$ на товщині поглинаючого шару, тоді глибина модуляції світла,

$$m = \frac{e^{(\alpha_2-\alpha_1)l} - 1}{e^{(\alpha_2-\alpha_1)l} + 1}, \qquad (2)$$

Найбільш ефективним методом збільшення концентрації вільних носіїв в напівпровідниковому матеріалі є інжекція через p–n перехід.

Відзначено, що керування світловими потоками можна здійснити шляхом поглинання світлового променя, зв'язаного з резонансним переходом електронов із валентної зони в зону провідності.

В другому розділі розглянуто питання квазістаціонарного керування зміною ширини каналу при плазмовому ефекті, особливості впливу електронної підсистеми на світлову хвилю. Одержано основне рівняння зміни ширини каналу, коли показник заломлення в каналі n змінюється за рахунок вільних електронів,

$$n = n_s\left[1-\frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right]^{1/2}, \qquad (3)$$

де n_s - показник заломлення решітки,

$\omega_p = \sqrt{\frac{Ne^2}{\varepsilon m^x}}$ - плазмова частота,

ε - діелектрична проникливість,

e - заряд електрона.

Звертається увага на поширення мод в такому хвилеводі, вивчено питання поведінки світловодів, керованих вільними електронами при поперечно прикладеному електричному полі.

Показано, що зміна ширини збіднілого шару дозволяє здійснити модуляцію інтенсивності при керуванні променем світла за рахунок плазмового ефекту. Проведено оцінку переваги плазмового керування. Сформулювано повну систему рівнянь, які визначають парні та непарні хвилі в симетричному хвилеводі з урахуванням постійного поширення β і хвильових чисел $k_i = \frac{\omega n_i}{c}$.

Парні ТЕ-моди

$$(\beta^2 - k_1^2)^{1/2} = (k_2^2 - \beta^2)^{1/2}\,\mathrm{tg}(k^2 - \beta^2)^{1/2}\frac{L}{2} \qquad (4)$$

Непарні ТЕ-моди

$$(\beta^2 - k_1^2)^{1/2} = -(k^2 - \beta^2)^{1/2}\,\mathrm{ctg}(k^2 - \beta^2)^{1/2}\frac{L}{2} \qquad (5)$$

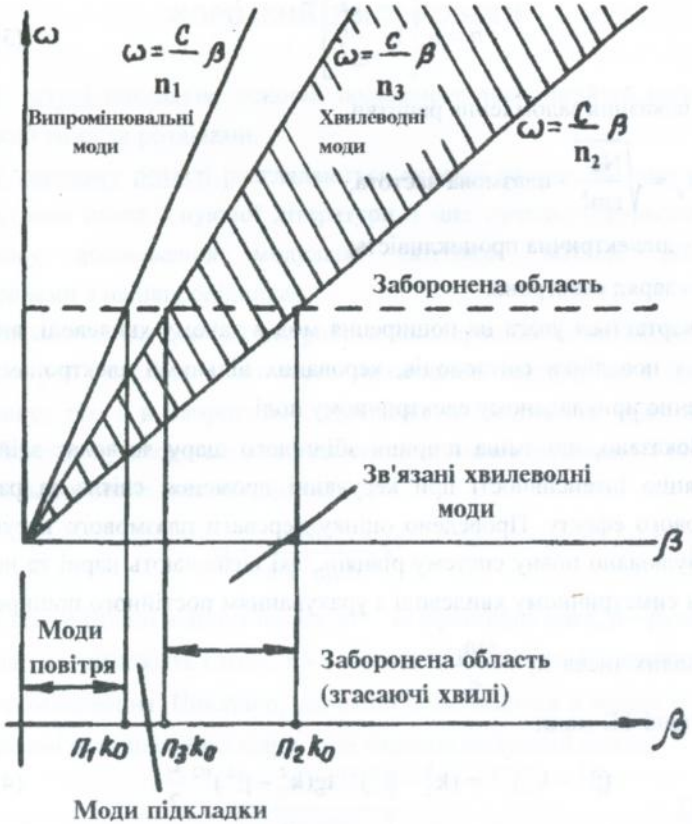
Парні ТМ-моди

$$(\beta^2 - k_1^2)^{1/2} = (k_2^2 - \beta^2)^{1/2}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 (k_2^2\beta^2)^{1/2}\frac{L}{2} \qquad (6)$$

Непарні ТМ-моди,

$$(\beta^2 - k_1^2)^{1/2} = -(k_2^2 - \beta^2)^{1/2}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \mathrm{ctg}(k_2^2 - \beta^2)^{1/2}\frac{L}{2}, \qquad (7)$$

де L - товщина плоского діелектричного хвилеводу.



На дисперсійному графіці штриховкою виділено область існування хвилеводних мод, в яких $n_1<n_3<n_2$. Фізичне значення цього обмеження полягає в тому, що фазова швидкість мод повинна бути не більше фазової швидкості плоских хвиль, що поширюються в матеріалі підкладки з показником заломлення n_3, але і не менше швидкості плоских хвиль у хвилеводному шарі з показником n_2.

Запропоновано методику розрахунку взаємодії світла з вільними носіями.

Показано, що в структурах метал-напівпровідник (МН), метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) і p–n-переході може здійснюватися

амплітудна, фазова і частотна модуляції за рахунок зміни ширини збіднілого шару залежно від прикладеної напруги.

Третій розділ присвячено вивченню питань дифракції світла на хвилях просторового заряду (ХПЗ) і просторово-періодичних неоднорідностях. Розглянуто порівняльні характеристики розсіяння світла різними типами хвиль, питання модуляції оптичного випромінювання за допомогою хвиль просторового заряду, дифракції випромінювання на таких хвилях, а також застосування методу зв'язаних мод для взаємодії хвиль у хвилеводі з n^+–n структурою. Досліджений (розроблений) двоканальний відгалужувач, керований n^+–n структурою.

Проведено оцінки зміни показника заломлення напівпровідника, що вносяться ХПЗ, акустичними, магнітостатичними хвилями. Показано принципову можливість використання ХПЗ в напівпровідникових плівках для керування лазерним випромінюванням. Одержано і вирішено рівняння, що дозволяє обчислити взаємодію світлових хвиль з ВПЗ і з періодичними структурами

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)E_i-\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\varepsilon_{ik}E_k)-\frac{\partial}{\partial z_i}(\vec{\nabla}\vec{E})-\frac{\partial(\sigma_{ik}E_k)}{\partial t}=0, \qquad (8)$$

де σ_{ik} - високочастотна провідність зразка.

Розроблено інженерну методику розрахунку для часткових випадків, що мають широке практичне значення.

Зокрема, запропоновано модель двоканального відгалужувача, керованого n–n^+ структурою, до якої прикладено керуючу надвисокочастотну напругу V. В цьому випадку ефективна зміна каналу визначається виразом

$$a = a_0 + L_d\sqrt{\frac{e\varphi}{kT}}(1\pm V/\varphi), \qquad (9)$$

де $L_d=\left(\frac{\varepsilon_s kT}{e^2V^2}\right)^2$ - довжина Дебая, φ - контактна різниця потенціалів.

Знак "+" береться при зворотній постійній напрузі, "–" - при прямій. Зазначена залежність величини a визначає амплітудну модуляцію в

хвилеводі. Подача змінної напруги, що змінюється за гармонійним законом, зумовлює додатково і частотну модуляцію.

Показано, що при керуванні прикладеною напругою, залежно від значення коєфіцієнта зв'язку K_{nj}^{0} можна змінювати величину перекачування потужності між хвилеводами, що визначається одержаною системою рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} A_1(z) &= \cos(\sqrt{K_{12}^{0}K_{21}^{0}}z)e^{i\beta z} \\ A_2(z) &= -i\sin(\sqrt{K_{12}^{0}K_{21}^{0}}z)e^{i\beta z} \end{aligned}\right\}.$$

В четвертому розділі викладено результати використання в електронній та інтегральній оптиці засад керування світловими потоками за допомогою поглинання світла вільними електронами. Розглядається питання ефективності роботи модуляторів при реалізації поглинання на вільних носіях заряду, наводяться електрооптичні характеристики германієвих ІК-модуляторів, способи підвищення глибини й однорідності модуляції. Приділяється увага засадам поліпшення елементів інтегральної оптики при використанні плазмового ефекту.

Показано, що недоліком модуляторів на вільних носіях заряду є неоднорідність модуляційної характеристики. Запропоновано методи підвищення модуляційної характеристики фотонних модуляторів за допомогою підбору геометрії модулятора (трапеція, диск), використання варіознного напівпровідника, інжекції вільних носіїв, утворення додаткового омичного контакту, електрично ізольованого від p–n-переходу. Розглянуті елементи інтегральної оптики і способи реконструкції їх з акустичної чи електрооптичної взаємодії в плазмову. Запропоновано нові типи акустооптичних модуляторів і перемикачів шляхом заміни їх ХПЗ і періодичними p–i–n-структурами.

ВИСНОВОК

Методами статистичної теорії, теорії поширення оптичних хвиль (мод), а також розв'язанням диференціальних рівнянь, найближчого розв'язання системи трансцендентних рівнянь, моделювання на ЕОМ, імітаційного моделювання, а також проведенням електрофізичних вимірів розглянуто процеси поширення світлових хвиль в системах метал-напівпровідник, метал-діелектрик-напівпровідник і p–n-переходах і можливість керування світловими потоками за допомогою вільних електронів.

1. Показано, що в основі керування світловими потоками за допомогою вільних електронів лежать два явища - поглинання світлового променя, зв'язане з резонансним переходом електронів із заповненої зони в зону провідності, що призводить до зміни уявної складової показника заломлення, і плазмового ефекту, який змінює дійсну частину показника заломлення. При цьому обидва явища вибірково діють на світловий потік: ефективне поглинання пов'язане з частотою переходу електронів з відповідного стану в зону провідності, а зміна активної складової показника заломлення - з плазмовою частотою.

2. Доказано, що завдяки плазмовому ефекту в напівпровідниках система вільних носіїв відіграє активну роль, пов'язану з тим, що через залежність показника заломлення від частоти і за рахунок того, що коефіцієнти відбивання і пропускання залежать від показника заломлення і є функціями частоти, можна напарвлено керувати світловим потоком.

3. При поширенні світлового променя по збіднілому шару, що змінюється за шириною, відбувається зміна його інтенсивності, тобто здійснюється модуляція за інтенсивністю при керуванні плазмовим ефектом. Швидкість модуляції при поглинанні визначається часом поглинання $\tau_{гр}$, а при плазмовому керуванні - часом максвеловської релаксації $\tau_м$. Через співвідношення $\tau_{гр} >> \tau_м$ плазмове керування забезпечить велику швидкість модуляції.

4. Встановлено, що змінюючи величину напруженості поля можна керувати фазовою швидкістю хвиль просторового заряду. При наявності негативної диференціальної провідності, що здійснюється підбором електричного поля, хвиля просторового заряду може бути зроблена незгасаючою і навіть підсилюватися в просторі.

При поширенні оптичного випромінювання в одномодовому градієнтному хвилеводі з металевою поверхнею може здійснюватися амплітудна модуляція за рахунок зміни ширини збіднілого шару при подачі на нього напруги. Зміна власних значень при цьому призводить ще й до фазової модуляції променя.

5. Показано, що застосування хвиль просторового заряду для модуляції оптичного випромінювання сприяє збільшенню смуги пропускання і швидкодії. Такі модулятори можуть бути створені у вигляді тонкоплівкових пристроїв за добре відпрацьованою технологією. При цьому виключаються втрати перетворення електричного сигналу на формування ХПЗ, в той час як збудження акустичних хвиль вносить затухання електричного сигналу не меньше 10 дБ.

6. Встановлено, що інтенсивність дифракційних порядків визначається як амплітудою модуляції діелектричної постійної решітки, так і амплітудою модуляції провідності зразка хвилями просторового заряду. Основні властивості дифракції характеризуються швидкістю перекачування енергії з нульового порядку дифракції у вищі порядки і навпаки, якщо виконується умова просторового синхронізму між нульовим і вищим порядком дифракції, і ступенем виконання умов просторового синхронізму. Для цілком симетричних хвилеводів, тобто при подачі однакової напруги на n^+–n структури, коефіцієнти зв'язку рівні та перекачування енергії здійснюється як і в звичайних зв'язаних симетричних хвилеводах.

7. Визначено основний напрям в розробці напівпровідникових модуляторів, пов'язаний з удосконаленням їх конструкції, застосуванням багатошарових напівпровідникових матеріалів і матеріалів з квантоворозмірними ефектами, що забезпечує досягнення високих показників

якості: глибини і лінійності модуляції, широкосмуговості, деградаційної стійкості.

Використання періодичної p–i–n-структури і ХПЗ дозволяє регулювати введення променя прикладеною напругою. Розроблено інженерну методику розрахунку взаємодії світлових хвиль з періодичними структурами. Запропоновано модель двоканального відгалужувача, що керує n–n^+ структурою.

Матеріали дисертаційної роботи знайшли відбиття в наступних публікаціях:

1. Викулин И.М., Ирха В.И., Панфилов М.И. Полупроводниковые модуляторы ИК излучения. - Одесса, 1995. - 50 с.

2. Боровков О.В., Коцаренко М.Я., Панфилов М.И., Чайка Г.Е. Взаємодія оптичного випромінювання з електронними хвилями в напівпровідникових плівках // Інформатизація та нові технології, 1994, №4. - С. 37-38.

3. Панфилов М.И. Полупроводниковые оптические волноводы на основе плазменного эффекта // Информатика и связь: Сб. научн. тр. Укр. Госуд. акад. связи им.А.С.Попова, Одесса, 1994. - С. 87-90.

4. Панфилов М.И. Оптический двухканальный ответвитель на основе плазменного эффекта // Тр. УНИИРТ. - 1995. - №1. - С. 101-102.

5. Panfilov M.I. Optical modulators based on p-n junction for subscriber's networks, 2-nd International conference with exhibition "Telecommunication and information systems", 22-25 November, 1994, Czechoslovakia, Zilina. - P. 126-128.

6. Panfilov M.I. Artificial intelligence optical processor, 3-nd International conference with exhibition "Telecommunication and information systems", 13-16 June 1995, Chechoslovakia, Zilina. - P. 86-87.

7. Викулин И.М., Ирха В.И., Панфилов М.И. Полупроводниковые оптоэлектронные модуляторы // Информатика и связь. - К.: Техніка. - 1995. - С. 48-51.

8. Chaika G.E., Malnev N.V., Panfilov M.I. Diffraction of light on the charge space waves, Nonlinear optics of liquid and photorefractive crystals, V.27/95, Plimuth USA. - 1996. - P. 274-282.

9. Chaika G.E., Malnev N.V., Panfilov M.I. Interaction of light space charge waves, Proceedings, 1995, V.2795. - P. 279-282.

10. Chaika G.E., Malnev N.V., Panfilov M.I. Diffraction of light on the space charge waves // International conference on optical diagnostics of materials and devices for opto-micro-and quantum electronics, OPTDIM'95, 11-13 May 1995, Kiev. - 129 p.

11. Panfilov M.I., Chaika G.E. Optical waveguides controlled by free electrons, 5th International symposium on recent advances in microwave technology, September 11-16 1995, Ukraine, Kiev. - P. 445-447.

12. Irkha V.I., Panfilov M.I. Semiconductor modulators for optical communication systems, II International conferences of radiocommunications, audio and television broadcasting, 19-22 September 1995, Ukraine, Odessa. - P. 207-210.

ANNOTATION

LIGHT FLUX MODULATION BY THREE ELECTRONS

Dissertation for candidacy of technical science by speciality 05.12.20 "Optoelectronic systems". Ukrainian State Academy of Communications named after A.S.Popov. Odessa, 1997.

The dissertation concerns with working out and investigation of new ways of light flux control by outer influence and its technical application.

Two phenomena are shown to be the basis of such a control: first, light beam absorption connected with resonant passing of electrons into conductive zone, which results in changing of refractive index imaginary component, and, second, plasma effect which changes real component of refractive index.

There's given the method of modulators geometry optimization with the aim of considerable reduction of its heating up and obtaining more homogenous modulation by beam section, and its deepening.

Power transfer magnitude between waveguides is stated to be changed at work of waveguides, controlled by applied voltage depending on coupling coefficient value.

The possibility of space change waves using in semiconductor films for laser radiation control is shown in this paper.

Engineering methods of calculation of light waves interaction with the periodic structures have been worked out. The model of two-channel coupler controlled by n^+–n structure is suggested.

Key words:

PLASMA FREQUENCY, SPACE CHARGE WAVES, INDEX OF REFRACTION, FREE CARRIER CONCENTRATION, FREE CARRIER EFFECTIVE MASS, LIGHT MODULATOR, DEPLETION LAYER WIDTH, WAVEGUIDE MODES.

АННОТАЦИЯ

МОДУЛЯЦИЯ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ СВОБОДНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.20 "Оптоэлектронные системы". Украинская государственная академия связи им.А.С.Попова, Одесса, 1997.

Работа посвящена разработке и исследованию новых методов управления световыми потоками внешним воздействием и их техническому использованию.

Показано, что такое управление основывается на двух явлениях - поглощении светового луча, связанном с резонансным переходом электронов в зону проводимости до изменения мнимой составляющей показателя преломления и плазменного эффекта, изменяющего действительную часть показателя преломления.

Предложен метод оптимизации геометрии модуляторов с целью существенного понижения их разогрева, достижения более однородной модуляции по разрезу луча и увеличения ее глубины.

Установлено, что при работе волноводов, управляемых приложенным напряжением, в зависимости от значения коэффициента связи можно изменить величину перекачки мощности между волноводами.

Показана возможность использования волны пространственного заряда в полупроводниковых пленках для управления лазерным излучением. Разработана инженерная методика расчета взаимосвязи световых волн с периодичными структурами. Предложена модель двухканального ответвителя, управляемого $n–n^+$ структурой.

Ключевые слова:

ПЛАЗМЕННАЯ ЧАСТОТА, ВОЛНЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА, ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, КОНЦЕНТРАЦИЯ СВОБОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ, ЭФФЕКТИВНАЯ МАССА СВОБОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ, ШИРИНА ОБЕДНЕННОГО СЛОЯ, ВОЛНОВОДНЫЕ МОДЫ.

Сдано в набор 23.04.97
Подписано в печать 30.04.97 Объем 1.0 а.л.
Формат 60×88/16 Зак № 35 Тираж 100 экз
Отпечатано в типографии издательского центра Украинской государственной академии связи им.А.С.Попова с оригинал - макета на издательском оборудовании фирмы RISO.

Украина, 270021, г.Одесса, ул. Старопортофранковская, 61

© УГАС, 1997

AB 38.255