

Міністерство зв'язку України

Одеський електротехнічний інститут зв'язку ім.О.С.Попова

На правах рукописи

САБАДАШ ВЕДА ВІКТОРІВНА

РОЗСІВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ У  
НЕРЕГУЛЯРНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ШАРОВИХ ХВИЛЬОВОДАХ  
НА ОСНОВІ ПЛОСКОЇ ТА ЦИЛІНДРИЧНОЇ СТРУКТУРИ

05.12.07 - Антени та НЕЧ - прилади;

05.12.20 - Оптичні системи локації, зв'язку та обробки  
інформації

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса - 1993

1993. 8. 10. 1118  
ОДЕСЬКА



Робота виконана в Київському  
інституту

Науковий керівник - лауреат Державної премії України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор ЧАЙКА Г.Є. /ОВІЗ ім.С.С.Попова/

Офіційні опоненти: - доктор фізико-математичних наук,  
професор ШЕЙКВИЧ І.А. /Київський  
державний університет ім.Т.Шевченка/,  
- кандидат технічних наук, доцент  
ОДІНЦОВ М.М. /ОВІЗ ім.О.С.Попова/

Провідна установа - Інститут фізики АН України

Захист відбудеться "18" червня 1993 р. на засіданні  
Спеціалізованої Ради в Одесі черв. електротехнічному інституті  
зв"язку ім.О.С.Попова

Адреса: 270021, Одеса, вул.Челюскінців, 1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту

Автореферат відправлено "18" травня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради  
Д ПІВ.05.01, ктн., доц.

М.О.СОЛОП

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**А к т у а л ь н і с т ь т е м и.** Однією з характерних рис науково-технічного прогресу кінця ХХ століття є великий попит на обробку, передавання та збереження інформації. Широко-строчність та двовірність електромагнітних коливань оптичного діапазону, доступність візуальному прийманню, електрична нейтральність фотонів найкращим чином відповідає обробці та передаванню великих масивів інформації.

Приклад таких систем – волоконно-оптичні лінії зв'язку /ВОЛЗ/ та волоконно-оптичні системи зв'язку /ВОСЗ/. Відмінна риса їх – максимально велика густина інформації в каналі та максимально великі швидкості її передавання. Для того, щоб ввести, обробити та ретранслювати інформацію у ВОСЗ існують функціональні прилади найвищої частоти /НВЧ/ та прилади оптико-електроніки, які працюють в оптичному діапазоні з об'єктами інформації та швидкість її обробки, які є типовими для ВОЛЗ. Високий рівень техніки потрібен і для оброблення сигналів радіо-променевих систем, систем впізнавання та читавчих автоматів. У всіх цих випадках характерна робота приладів та систем в реальному часі в оптичному діапазоні, частота електромагнітних коливань яких в 1000–10000 разів більше, ніж частота коливань найвисокочастотного випромінювання. Це відповідає довжині хвиль від одиниць до десятих частин мікрометра. Такі ж розміри впоперечних розрізів діелектричних хвильоводів /ДХ/ – каналів передачі інформації.

Крім того, одним з найбільш яскравих досягнень лазерної фізики останнього часу стала розробка методів генерації та

формування світлових імпульсів довжиною порядку  $10^{-15}$  с – фемтосекундних імпульсів, під огинавчою яких вкладається лише кілька періодів коливань. Важливою особливістю цих імпульсів є їх властивість розповсюджуватись в режимі солітону.

І останнє. Велике значення має зараз використання техніки НВЧ в медицині /інститут хірургії ока в м.Москві, інститут онкологічних захворювань та інститут урології в м.Києві і т.ін./ . Специфіка використання техніки НВЧ в медицині складається в тому, що експеримент не може бути проведено дослідним шляхом, потрібен чіткий теоретичний опис можливих результатів.

М е т о в р о б о т и є як можна більш точний опис розповсюдження електромагнітних хвиль в ДХ, а точніше:

- розробка методик розрахунку коефіцієнта згасання в нерегулярному волокні;
- розробка волоконно-оптичного відокремлювача з НВЧ-управлінням;
- теоретичний дослід розповсюдження лазерного випромінювання в дисперсних біологічних об'єктах.

М е т о д и д о с л і д ж е н н я . В роботі використані методи математичної фізики, електродинаміки та геометричної оптики, які допомагають будувати системи власних функцій, а саме: метод впоперечних розрізів, метод функцій Грина, метод відокремлення змінних, а також чисельні методи, реалізовані на EOM.

Н а у к о в а н о в и н а роботи складатиметься з такого:

1. Запропоновано теорію плоского діелектричного хвильоводу, яка має в своїй основі знаходження рішень хвильового рівнян-

ня у всьому просторі. Методом впоперечних розрізів ми отримали власні значення для нерівних поверхонь хвильоводу в допущенні плавних нерівностей;

2. Методом функцій Грина отримані власні значення для нерівної повертіні круглого ДХ;

3. Вперше розраховано поле ТЕ-мод для випадків, при яких можливі точні рішення рівнянь Максвелла з урахуванням згасання у волокні;

4. Розраховано згасання в ДХ, яке викликано наявністю гідроксильних груп, побудовані залежності поглинення в гідроксильних групах від довжини хвилі;

5. Роздивилися випадок розповсюдження фемтосекундних лазерних імпульсів в режимі солітону в окресленому середовищі /ДХ/. Показана нестійкість солітону у випадку ДХ;

6. Вперше запропонована розробка оптичного відокремлювача з КВЧ-управлінням, який має світловоди, які вбудовані у напівпровідникову інтегральну структуру, яка має зону з електрично управляємою провідністю;

7. Рішенням кінетичного рівняння Больцмана для біологічного дисперсного середовища оцінена доцільність введення лазерного випромінювання в циліндричний біологічний шаровий хвильовод через поперечний переріз, а не через бокову поверхню. Результати розрахунків реалізовані на БОМ.

Практична цінність результатів роботи:

1. Вперше запропоновано КВЧ-відокремлювач на інтегральних р-і-п-структурах, який виконано у вигляді монолітного інтегрального блоку та, як слідство, має високу швидкодію;

2. Вперше розраховано розсіювання лазерного випромінювання в дисперсних біологічних об'єктах. Розрахунок проводився за допомогою ЕОМ для дуже великого розсіювання і тому практичне використання запропонованого способу можливе тільки тоді, коли випромінювання вводиться через поперечний переріз. Цей результат дисертаційної роботи підтверджено актом про впровадження Інституту Фізики АН України;

3. Розраховано коефіцієнт згасання у нерегулярному ДХ для різноманітних нерегулярностей, а також врахована уявна добавка при розрахунках полів ТЕ-мод для випадків, при яких можливі точні рішення рівнянь Максвелла.

А п р о б а ц і я р е з у л ь т а т і в р о б о т и. Основні положення та результати дисертаційної роботи доклалися та обговорювалися на науково-технічній конференції МАІ "Устройства и методы прикладной электродинамики", м. Москва, 1987 р.; на науково-технічному семінарі "Волоконно-оптические системы передачи информации в энергетических комплексах", який було проведено центральним правлінням науково-технічного товариства радіотехніки, електроніки та зв'язку ім. О.С. Попова, м. Москва, 1987 р.; на науково-технічній конференції "Волоконно-оптические системы передачи", м. Донецьк, 1987 р.; на Всесоюзному семінарі "Математическое моделирование физических процессов в антенно-фидерных трактах", який проводив Саратовський університет в 1988 р.; та на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу та наукових співробітників ОВІЗ в м. Києві, 1989-93 рр.

П у б л і к а ц і ї. По результатах роботи опубліковано 3 роботи, подано заяву на винахід, на яку отримано позитивне

рішення.

Об'єкт роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 4-х розділів та закінчення. Робота має 104 с., в тому числі 91 с. тексту, 13 с. малюнків та таблиць, 8 с. додатків, бібліографії з 103 назв на 6 с.

Основні положення, які виносяться на захист:

1. Розрахунок коефіцієнту згасання у плоскому та круглому діелектричних хвильоводах з нерівними поверхнями;
2. Розрахунок поля TE-мод для випадків, при яких можливі точні рішення рівнянь Максвелла з урахуванням згасання у волокні;
3. Опис розповсюдження фемтосекундних лазерних імпульсів в режимі солітону для випадків, коли середовище має кордони /ДХ/;
4. Обґрунтування принципово нового типу оптичного відокремлювача, керованого прикладеною напругою;
5. Метод розрахунку /за допомогою ВМ/ розсіювання лазерного випромінювання у дисперсних біологічних об'єктах.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета та задачі пошуку, намальована структура дисертації. Тут також названі основні тези, які виносяться на захист.

Перший розділ є літературним оглядом. У ньому описано розповсюдження світлових хвиль у прозорих та непрозорих середовищах. Підкреслено, що прозорі середовища - математична

абстракція, присма для того, щоб описувати розповсюдження хвиль, але неіснуюча в реальному житті. Тут також дана класифікація світловодів, при цьому окремо ми роздивились регулярні та нерегулярні волокна. Спеціальна увага приділяється нерегулярним волокнам, бо саме вони є темою нашого дослідження.

Описані спрямовані відокремлювачі та їх особливості.

Показано, що існують хвильоводи, для яких рівняння Максвелла мають точні рішення.

Дано визначення солітонів, описане розповсюдження солітонів, намальовано солітонний режим розповсюдження стаціонарних імпульсів.

Другий розділ присвячено згасанню електромагнітних хвиль в діелектричному хвильоводі. В реальних хвильоводах частина електромагнітної енергії віддається на нагрівання стінок, а також загублюється в діелектрику. Постійна розповсюдження для згасаючої хвилі є величина комплексна. Ми роздивилися лише дві основні причини, які можуть викликати згасання: а/ нерівності кордонів ДХ та б/ поглинення гідроксильними групами.

Методом впоперечних розрізів знайдені власні значення для нерівних поверхонь плоского хвильоводу в допущенні плавних нерівностей. Використання всієї системи ортогональних хвиль діелектричної площини дозволяє у випадку малих та плавних нерівностей кордонів в межах теорії збурень отримати спектр власних поверхневих хвиль, визначити змінення фазової швидкості таких хвиль в порівнянні з плавними хвильоводами та знайти їх згасання, яке визначено трансфор-

мацією поверхневих хвиль у псевдоповерхневій. З дисперсійних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} g_n \operatorname{tg} g_n b(z) &= -i \beta \alpha_n; \\ g_n^2 &= \kappa^2 (\beta^2 - 1) + \alpha_n^2. \end{aligned} \right\} \quad /1/$$

$$\left. \begin{aligned} g_n \operatorname{ctg} g_n b(z) &= i \beta \alpha_n; \\ g_n^2 &= \kappa^2 (\beta^2 - 1) + \alpha_n^2. \end{aligned} \right\} \quad /2/$$

де  $b$  - ширина хвильоводу,

$\beta^2$  - діелектрична проникливість,

$\kappa = \frac{\omega}{c}$  - хвильовий вектор,

$\omega$  - частота хвилі,

$c$  - швидкість світла у вакуумі,

визначається в деякому розрізі  $z = \text{const}$  діелектричної площини спектр власних значень парних функцій та спектр непарних поверхневих хвиль. Однак треба мати на увазі, що, на відміну від плоскої ідеальної площини, у нашому випадку власні числа /корні вищезгаданих дисперсійних рівнянь/ залежать від  $z$ . Ми визначили  $\alpha_n$  та  $g_n$  у рівняннях /1/ та /2/ у вигляді рядів по степенях  $\Delta$ . Підставлення цього розкладення у /1/ та порівняння складових одного порядку малості приводить в нульовому допущенні по  $\Delta$  до дисперсійного рівняння, корні якого ми вважаємо заданими. Поправка до власних впоперечних квантових чисел  $\alpha_n$  пропорційна середньоквадратичному відхиленню  $\sigma^2$  нерівностей кордонних площин від її ширини. Власні значення  $g_n$  зв'язані з постійною розповсюдження хвилі  $k_n$  співвідношенням  $k_n = \sqrt{\kappa^2 \beta^2 - g_n^2}$ . Можна бачити, що відносне змінення постійної розповсюдження, яке зв'язане з нерівністю кордонів,

зменшується, коли росте частота. Таким чином, метод будування ортогональних впоперечних власних функцій, які визначені у всій області впоперечного розрізу, дозволяє значно скоротити розрахунки з введенням функцій Грина для внутрішньої та зовнішньої областей хвильоводу.

Далі ми роздивилися круглий волоконний світловод з нерівними кордонами. Підкреслено, що поверхневі збурення можуть стосуватися змінення кордонних умов та змінення форми кордонів. Ми роздивилися випадок з постійними кордонними умовами та припустили, що характеристичні функції  $\psi_n$ , які задовольняють цим кордонним умовам на незбуреній поверхні  $S'$ , та відповідачі їм характеристичні значення  $k_n^2$  задані. Ми роздивилися випадок, коли функції ортогональні не тільки у всьому просторі, але й окремо в кожній області. Функція  $\psi$  повинна задовольняти кордонним умовам на збуреній поверхні та рівнянню

$$\nabla^2 \psi + k^2 \psi = 0. \quad /3/$$

Маючи уявлення функції Грина, ми можемо отримати інтегральне рівняння для  $\psi$ . Тоді  $\psi$  може бути розкладена таким чином

$$\psi = \sum_p C_p \psi_p, \quad /4/$$

де  $C_p$  - коефіцієнти ряду.

Таким чином нашу задачу зведено до розрахунку  $C_p$ , що і зроблено в дисертаційній роботі.

Далі в роботі розраховано уявну частину постійної розповсюдження для слабопоглинаючого круглого волоконного світловоду з профилем показника заломлення, для якого рівняння Максвелла мають точні рішення. Ми ввели поправку до

постійної розповсюдження  $\gamma$ , яка зв'язана з поглиненням та розраховували поправку  $\delta f(R)$  до функції  $f(R)$ , яка характеризує профіль показника заломлення. Далі, використовуючи теорію збурень, розраховували поправку  $\delta u^2$  до власних чисел. Приведена таблиця для полів ТЕ-мод для профілей, для яких рівняння Максвелла мають точні рішення з урахуванням згасання.

Далі розраховано вплив неоднорідностей оболонки на спектр оптичних втрат волоконного світловоду з серцевиною з кварцового скла. Основні проблеми, які виникають при виготовленні волокна з малими втратами – це наявність стрічок поглинення гідроксильної групи, яка пояснюється присутністю іонів гідроксилу в трубі-підложці з  $\text{SiO}_2$ . Ми мали на увазі конкретну модель волокна. Получено рівняння для уявної частини діелектричної проникливості  $\tilde{\epsilon}_2''$ , яка характеризує поглинення в оболонці. Залежність  $\tilde{\epsilon}_2'' = f(\frac{1}{\lambda_m})$  зображено на малюнку. Получено характеристичне рівняння для постійної розповсюдження  $\gamma$ . Визначені залежності  $\alpha = f(\lambda)$  та  $\beta = f(\lambda)$  для нашої конкретної моделі. Ці дані, що дають розрахунки, дозволяють стверджувати, що навіть для малої концентрації  $1/\lambda \sim 10^{-10} / \alpha$  достатє в резонансній області 3,1 дБ/км, що набагато більше мінімальних втрат, які є у сучасній технології.

Далі в цьому розділі мова йде про солітони, а точніше, – про їх розповсюдження в окресленому середовищі – хвильоводі. Сучасні дослідники солітонів завжди уявляють, що середовище, для якого знаходиться рішення, безкінцеве; а як слідство, по-перше, будь-які локалізовані рішення завжди зв'язані з неоднорідностями, а по-друге, обмеженість середовища веде

до згасання солітону. В нашому дослідженні мова йде саме про середовище, яке має кордони в просторі. Як слідство -- солітон буде поводитись інакше, ніж в середовищі без кордонів -- він буде згасати.

Взагалі, фізичні ситуації, при описанні яких з'являються стандартні солітонні рішення, дуже ідеалізовані. Коли в дій вступать ефекти, які мають місце в більш реалістичних експериментальних ситуаціях, це приводить до рівнянь, які відрізняються від стандартних солітонних рівнянь. Коли додаткові члени в рівнянні порівняно малі, то можна чекати, що в крайньому разі для деякого початкового інтервалу часу їх вплив на різні солітонні явища буде не дуже сильним.

Сучасні лазерні системи можуть генерувати світлові імпульси, довжина яких складає лише кілька періодів світлових коливань. Лінійне розповсюдження таких імпульсів навіть у слабо диспергуючому середовищі /подалі від резонансів/ дуже відрізняється від того, що є в оптиці розповсюдження хвильових пакетів невідомої форми. Дисперсія середовища сильно впливає на форму коротких імпульсів. Можна спеціально підібрати початкову фазову модуляцію імпульсу та знак дисперсії таким чином, щоб цілеспрямовано керувати формою імпульсу, сильно його зтискувати -- "фокусувати" у часі.

Задачі, які зв'язані з розповсюдженням хвильових пакетів в лінійному диспергуючому середовищі, вирішуються за допомогою класичної лінійної оптики. При цьому слід звернути увагу на те, що дисперсія може бути зумовлена як резонансами в однорідному середовищі, так і штучно зробленими неоднорідностями /наприклад, гідроксильними групами, які уважно роздивлялися вище/.

Дисперсійні ефекти можуть бути покладені в основу різноманітних схем компресії /а саме фокусування у часі/ та перетворення форми коротких імпульсів /довжиною до  $10^{-14}$  с/.

Знайдено рішення, яке зв'язане з квазіоптичним допущенням

$$E(\rho, z, t) = \frac{1}{2} A(\rho, z) e^{i(\omega_0 t - \kappa_m z)} + \text{к.с.}, \quad /5/$$

де  $E$  - напруженість електричного поля, яка залежить від координат  $\rho$ ,  $z$  та  $t$ ;

$A$  - амплітуда огибаючої;

$\kappa_m \rightarrow \kappa_{cp}$  - хвильовий вектор,

к.с. - комплексна складова.

Це допущення справедливе тоді, коли змінення комплексної амплітуди впоперек напрямку розповсюдження стається швидше, ніж вздовь. Швидкі зменшення поля  $E(\rho, z, t)$  вздовь напрямку розповсюдження мають на увазі за допомогою експоненційного множника. З фізичної точки зору дисперсійне розпливання хвильового пакету багато в чому аналогічне дифракційному розширенню хвильового пучка. Тому часто кажуть про квазіоптичне допущення в описанні хвильових пакетів.

Самовплив світлових імпульсів в нелінійному середовищі, яке супроводжується розширенням, може привести до необхідності урахування дисперсії середовища у другому та більш високих допущеннях лінійної теорії дисперсії. При роботі з довжиною імпульсів  $10^{-13}$  -  $10^{-14}$  с це треба враховувати. Самовплив імпульсів ми описуємо за допомогою рівняння у бігучих координатах, яке називається нелінійним рівнянням Шредингера. Підкреслено, що особливий інтерес викликає режим самозтискування. При умові  $l_g = L_{nl}$  / $l_g, L_{nl}$  - дисперсійна та

нелінійна довжина/, дисперсійне розпливання імпульсу точно компенсується самозтискуванням. В результаті імпульс зберігає свою форму - виникає солітон.

Далі підкреслюється, що у фокусувочому середовищі можуть формуватися солітони секанс-гіперболічної форми. На початковому етапі імпульс з густиною енергії  $W > W_{кр}$  зтискується, а з  $W < W_{кр}$  - розпливається. Разом з тим необхідно підкреслити, що цей солітон є стійким по відношенню до малих збурень.

Треба наголосити на тому, що солітонний режим розповсюдження має місце тільки в разі постійної підкачки енергії, щоб мало місце співвідношення  $W = W_{кр}$ . Коли ж цього нема /а у випадку передавання енергії по хвильоводу не можна запобігти втратам енергії, а значить  $W$  у якусь мить стане менше  $W_{кр}$  /, то має місце розширення імпульсу, що потребує спеціальних засобів боротьби з цим явищем.

Третій розділ присвячено управлінню світловими променями за допомогою вільних електронів. Підкреслено, що хвильоводне розповсюдження світла можна бачити також в обіднених шарах p-n-переходів в монокристалічних напівпровідниках, які вирощені епітаксильно та легіровані за допомогою дифузії добавок. Обіднений шар є двоканалюючим та каналізує світлову хвилю у формі заданої моди. Таким чином, дана система діє як електричний хвильовод, в якому ширина шара з більш високою діелектричною проникливістю приблизно дорівнюється ширині шару об'ємного заряду p-n-переходу при нульовому здвигу. Подвійне променезаломлення визвано тим, що діє лінійний електрооптичний ефект / ефект Покельса/ в

шарі об'ємного заряду  $p-n$ -переходу, ширина якого залежить від напруги здвигу.

на даному етапі склалася така ситуація, коли швидкість швидкодії систем інформатики та автоматики окреслюється інерційністю електронних потоків, на основі яких ці системи розробляються. Виникає необхідність переходу на інші потоки, якими можна керувати, перш за все світлові. Зміна електронних потоків світловими дозволяє надіятися на збільшення швидкості швидкодії на багато порядків, однак одночасно стає принципова проблема, яка має дуже велике значення. Ця проблема в тому, що в електронних потоках носіями інформації є заряджені частки, керувані якими за допомогою магнітних, і особливо електричних полів не дуже важке. В світлових же потоках носіями інформації є нейтральні частки фотони, керувати якими набагато важче.

Ми знаємо, що керувати світловими потоками можна зміненням показника заломлення у спрямовувачих системах. Таке змінення показника заломлення досягається за рахунок електрооптичного ефекту. При цьому дія на цьому ефекті приладів оптоелектроніки має свої недоліки:

1. Для того, щоб мати ефективне змінення показника заломлення необхідні достатньо сильні електричні поля;

2. Електрооптичний ефект має в своїй основі змінення кристалічної ґартки світловоду, що обмежує швидкість модуляції світлового променя.

Існує теоретична розробка цілого ряду приладів, принцип дії яких має в своїй основі змінення показника заломлення за допомогою змінення концентрації вільних електронів в каналі. Суть в тому, що показник заломлення напівпровідників

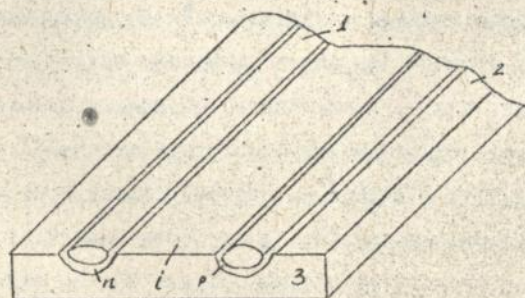
зменшується, коли збільшується концентрація вільних електронів. А як слідство, роблячи обіднені шари зі зменшеною концентрацією, можна збільшити в цих шарах показник заломлення та зробити спрямовані світловоди. Ширина такого світловоду буде керуватися прикладеною напругою, як це робиться в контактах метал-напівпровідник,  $p-n$  -переходах, структурах "метал-діелектрик-напівпровідник" і т.ін. Згадані світловоди можна було б робити на основі арсеніду галів. Обіднені шари у цьому матеріалі широко використовуються на практиці у багатьох приладах та пристроях сучасної мікроелектроніки, тому для спеціалістів-технологів будування таких шарів, мабуть, не буде важким.

Ми пропонуємо оптичний відокремлювач з КВЧ-управлінням. Цей прилад належить до приладів інтегральної оптики, а саме: до перерозповсюдження енергії світлового променя між двома хвильоводами за допомогою електромагнітної хвилі міліметрового та субміліметрового діапазону /КВЧ - діапазону/.

Відомо, що існує оптичний відокремлювач, який являє собою два оптичних водокна, на заданій ділянці яких діє оболонка з активного кристалу з електрооптичним ефектом. Такий оптичний відокремлювач працює завдяки ефекту Покельса: перерозповсюдження енергії світлового променя здійснюється завдяки прикладанню електричного поля до кристалу, внаслідок чого змінюється показник заломлення. При цьому довжина, на якій здійснюється це змінювання показника заломлення керується прикладеним електричним полем. Наша мета - підвищення швидкодії оптичного відокремлювача, який зроблено в вигляді монолітного інтегрального блоку /мал.І/. Цієї мети ми досягаємо тим, що

світловоди вроблені у напівпровідникову інтегральну поверхнево-орієнтовану  $p-i-n$ -структуру, властивостями якої можна керувати, спрямовуючи на нїї КВЧ випромінювання /частоти міліметрового та субміліметрового діапазонів/. На малюнку 1,2 - волокна, які вроблені в напівпровідникову підложку 3 структури, на поверхні якої сформована матриця з  $p-i-n$ -діодів. Така матриця зараз формується на площинах монокристалового кремнію, ділянки електронної та діркової провідності роблять стандартними фотолітографічними методами за допомогою дифузії та іонного легування.

Прилад працює таким чином. До того, як буде подано керувачий сигнал, відокремлювач працює в початковому робочому режимі /наприклад, розділення надвоє, так зване 3-х децибелне розділення/. Після подавання КВЧ-сигналу на ділянці  $p, n$ -областей з'являється електронно-діркова плазма, яка інжектується і в напівпровідник. У початковому робочому режимі  $p, n$ -контакти зсунуто у прямику /необхідні зварки доста-



$$l = 10 \text{ мкм}$$

$$p, n = 70 \text{ мкм}$$

Мал. 1.

ють часток всьвіт/. Дрейф та дифузія носіїв продовжуються до виникнення нейтральної двокомпонентної плазми. При цьому виникає високопровідний шар, який частково чи повністю включає світловоди. В результаті цього показник заломлення області може змінитися дуже сильно, і перерозповсюдження енергії в плечах світловоду буде порушено. Час цього змінення оцінюється в кілька наносекунд.

В четвертому розділі мова йде про розповсюдження лазерного випромінювання у дисперсних біологічних об'єктах. В зв'язку з тим, що дисперсні системи мають велике розсіювання світлового випромінювання, ми вважаємо дуже важливим використання кінетичного рівняння Больцмана як теоретичного методу випромінювання.

Завданням кінетичного рівняння Больцмана є знайдення функції розповсюдження фотонів  $f(\rho, p, t)$ , яка описує густину часток на ділянці фазового простору, яка має місце  $\rho$ , імпульс  $p$  і час  $t$ . У відповіданні зі специфікою поставленої задачі сконцентруємо увагу на двовірних задачах, які зв'язані з розсіюванням у циліндрі. Ми не враховували обмін енергій при стиканні та вплив на частки електричних, магнітних та інших полів. Таким чином, ми можемо вважати, що частки-фотони мають однакову /по абсолютній величині/ швидкість, а в результаті стикання змінюється тільки напрямок їх руху. Кінетичне рівняння розв'язане для двох випадків: для циліндричного дисперсного середовища та для пучка, який падає на бокову поверхню. У першому випадку ми роздивилися дисперсне середовище у вигляді напівбескінченного циліндру з радіусом

середовища поглинення  $z_1$  і непоглинаючого середовища, яке займає бескінцеве напівкільце від  $z_1$  до  $z_2$ . Отримано характеристичне рівняння для визначення величини  $K$  :

$$1 = \frac{ze}{2} \int_{-1}^1 \frac{d\mu'}{1 - \mu'k - \beta\sqrt{1 - (\mu')^2}}, \quad (6/)$$

де  $ze$  - середня доля непоглинутих часток;

$$\mu' = \cos \theta;$$

$\theta$  - кут між напрямком руху і осью  $Ox$ .

Це рівняння розв'язувалося чисельно на ЕОМ. Корні рівняння зведені у таблицю. Далі ми знаходимо кількість часток, які поглинуті дисперсним середовищем.

У другому випадку було знайдено рішення кінетичного рівняння для пучка, що падає на бокову поверхню циліндру, який має дисперсне середовище. Ми роздивилися задачу, аналогічну першому випадкові, але потік випромінювання падає навіть на бокову поверхню. Ми вважали, що поглинення фотонів на ділянці напівкільця  $z_2 > \rho > z_1$  практично немає. Тут також знайдено кількість часток, які поглинає біологічне дисперсне середовище.

У закінченні дисертації приведені основні результати, які отримано в роботі:

1. Отримані власні значення для плоского діелектричного хвильоводу з нерівною поверхнею. Метод будівництва ортогональних поперечних власних функцій, визначених у всій області поперечного розрізу, дозволив значно скоротити розрахунки в порівнянні з методом функцій Грина;

2. Знайдено характеристичну функцію і зв'язані з нею характеристичні значення, які задовольняють кордонним умовам на поверхні круглого ДХ з нерівними кордонами;

3. Отримано уявну частину постійної розповсюдження для слабопоглинаючого волоконного світловоду з профілем показника заломлення, при якому можливі точні рішення рівнянь Максвелла, а саме:  $L$ ,  $M$ ,  $N$  та  $O$  - профілів. При допомозі теорії збурень отримано поправку до власних чисел задачі, яка не враховує затухання;

4. Розраховано вплив неоднорідної оболонки світловоду на поглинення в слабопоглинаючому двошаровому волокні. Отримано залежності уявної частини діелектричної проникливості  $\epsilon''(\lambda)$ , продольної постійної розповсюдження  $\beta(\lambda)$  та спектр оптичних втрат в ступеневому двошаровому світловоді з неоднорідною оболонкою. Показано, що поглинення, яке зумовлене гідроксильними групами, необхідно враховувати вже при коефіцієнтах заповнення  $\sim 10^{-10}$ , що обумовлює запити до технології виготовлення світловодів;

5. Показано, що розповсюдження лазерних імпульсів в режимі солітону в середовищі, яке обмежене в просторі, дуже проблематично;

6. Запропоновано оптичний відокремлювач, який виконано у вигляді монолітного інтегрального блоку, де світловоди вбудовано у напівприсвідникову інтегральну структуру, яка має в області оптичного зв'язку ділянку з електрично керуємою провідністю;

7. Роздивилися розсіювання світлового лазерного випромінювання в дисперсних біологічних об'єктах. Показано, що навіть при значному збільшенні радіусу падаючого пучка, поглинений потік енергії при введенні світлового потоку через бокову поверхню має дуже незначну величину. Як слідство -

цей потік малоефективний, і енергію потрібно вводити через поперечний переріз.

По матеріалах дисертації надруковано такі роботи:

1. Едгорбеков Д.В., Федосова /Сабадаш/ В.В., Чайка Г.Е. Распространение электромагнитных волн в плоском диэлектрическом волноводе с шероховатыми границами. - Тез. докладов научно-техн. конференции, Донецк, 1987, с. 99-101.
2. Бушанский А.В., Гречко Л.Г., Едгорбеков Д.В., Левандовский В.Л., Федосова В.В., Чайка Г.Е. Электродинамический анализ затухания волн в волноводах миллиметрового и оптического диапазонов. - М.: Изд-во МАИ, тез. докладов научно-техн. конференции, 1987, с. 71.
3. Едгорбеков Д.В., Федосова В.В., Чайка Г.Е. Входное сопротивление диэлектрического волновода, возбуждаемого через щель. - ВИНТИ, №10, 1988.
4. Федосова В.В., Чайка Г.Е. Электродинамический анализ затухания волн в волноводах миллиметрового и оптического диапазонов. Изд-во Саратовского ун-та, 1988, с. 18.
5. Гречко Л.Р., Зинкевич А.П., Левандовский В.Г., Огеико В.М., Федосова В.В., Чайка Г.Е. Влияние неоднородности оболочки на спектр оптических потерь волоконного световода с сердцевинной из кварцевого стекла. - Ленинград, Ж. Оптика и спектроскопия, 1989, Т. 67, В. 4. С. 968-971.
6. Сабадаш В.В., Чайка Г.Е. Затухание электромагнитных волн в оболочке световода для случаев, допускающих точные решения уравнений Максвелла. Тез. докладов Всесоюзного семинара. Изд-во Саратовского ун-та, 1990, с. 84.

7. Сабадаш В.В., Сабадаш В.В., Чайка Г.Е. Затухание электромагнитных волн в оболочке световода для случаев, допускающих точные решения уравнений Максвелла. - Ленинград, Ж. Оптика и спектроскопия, 1991. Т. 70, № 2. С. 463-465.
8. Сабадаш В.В., Чайка Г.Е. Управление световыми лучами посредством свободных электронов. В сб. Теория, системы и устройства связи. - Одесса, 1992, с. 37-39.

Щдписано до друку 13 04.93 г.

Обсяг 0,88 друк. арк.

Формат 60x84 1/16.

Зам. " II4. Тираж 100.

---

Друкарня Одеського електротехнічного Інституту зв'язку  
Ім. С.С. Попова. Одеса, Старопортофранківська, 61.

465165

AB 27.450