

УДК 621.382.2

**БЕЗКОРПУСНІ ІНФРАЧЕРВОНІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДЖЕРЕЛА
ВИПРОМІНЮВАННЯ****В.М. КАБАЦІЙ**

Мукачівський технологічний інститут

Й.Й. ГОЛОВАЧ

Спеціальне конструкторське бюро засобів аналітичної техніки, м. Ужгород

Розроблені напівпровідникові безкорпусні випромінюючі в інфрачервоному діапазоні спектру 2,5-5,0 мкм епітаксіальні гетероструктури на основі з'єднань A^3B^5 . В роботі використані тверді розчини $In_{1-x}Ga_xAs/InAs$ та $InAs_{1-x-y}Sb_xP_y/InAs$ з метою одержання структурно-узгоджених систем з різним рівнем легування. Дослідженні електрофізичні характеристики одержаних гетероструктур з створеними в них p-n переходами, а також фізико-хімічні та оптичні властивості захисних та просвітлюючих діелектричних покриттів на основі складних халькогенідних склоподібних напівпровідникових матеріалів. Такі напівпровідникові випромінюючі структури є основою для багатьох сучасних оптоелектронних систем та систем різного спеціального призначення.

При розробці сучасних приладів оптоелектронних систем та приладів газового аналізу виникла проблема в створенні напівпровідникових інфрачервоних (ІЧ) джерел випромінювання на область спектру 2,5-5,0 мкм, де розміщені смуги поглинання основних, забруднюючих атмосферу газів ($\lambda = 2,5; 2,9; 3,32; 3,8; 4,27; 4,67$ мкм) [1]. Основними джерелами випромінювання в середній ІЧ-області спектру в даний час являються різні модифікації чорних тіл та напівпровідникові випромінюючі діоди ближнього інфрачервоного діапазону спектру ($\lambda < 2,5$ мкм). Тверді розчини на основі бінарних сполук $InAs-GaAs$ групи A^3B^5 по своєму складу найбільш придатні для реалізації на її основі напівпровідникових випромінюючих діодів в середній ІЧ-області спектру (2,5–5,0 мкм). Вони являють собою неперервний ряд твердих розчинів заміщення зі змішаною іонно-ковалентною природою хімічного зв'язку, але вивчені не в повній мірі. Покращити оптичні та експлуатаційні характеристики одержаних на їх основі випромінюючих діодів можна використовуючи захисні та просвітлюючі покриття з показником заломлення, близьким до показника заломлення напівпровідника. Тому дослідження технологічних аспектів одержання твердих розчинів, напівпровідникових випромінюючих діодів на їх основі та покращення їх експлуатаційних характеристик є актуальною задачею.

Об'єкти та методи дослідження

Для нового покоління джерел ІЧ-діапазону були використані тверді розчини $In_{1-x}Ga_xAs/InAs$ та $InAs_{1-x-y}Sb_xP_y/InAs$ з метою одержання структурно-узгоджених систем з різним рівнем легування. Найбільш технологічним методом одержання даних твердих розчинів є метод рідиннофазової епітаксії. Він дозволяє одержувати однорідні,

низькодефектні, високоякісні монокристалічні плівки твердих розчинів контролюваного складу при високому рівні їх відтворюваності, а також одношарові і багатшарові структури з створеними в них р–п переходами [2].

Дослідження показали, що здійснюючи покриття діода відповідним оптично прозорим матеріалом певної форми (наприклад, у виді напівсфери, або сфери Вейерштраса) з показником заломлення, близьким до показника заломлення напівпровідника, можна теоретично підвищити коефіцієнт виводу випромінювання приблизно на порядок. Проблемою підвищення зовнішнього квантового виходу випромінювання шляхом збільшення коефіцієнта виводу випромінювання з кристалу є створення оптичного контакту між випромінюючим кристалом і оточуючим середовищем. Для покращення оптичних та експлуатаційних характеристик випромінюючих діодів на область спектру 2,5-5,0 мкм перспективними є напівпровідникові матеріали на основі халькогенідних стекел як захисні та просвітлюючі покриття [3].

Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження електрофізичних характеристик одержаних гетероструктур $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InAs}$ та $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y/\text{InAs}$ з створеними в них р–п переходами, а також фізико-хімічні та оптичні властивості напівпровідникових халькогенідних стекел для одержання безкорпусних напівпровідникових джерел випромінювання в інфрачервоній області спектру.

Результати та їх обговорення

Гетероструктури з створеними в них р–п переходами для джерел випромінювання, що перекривають область спектру 2,8-3,6 мкм були виготовлені на основі $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ ($x \leq 0,25$). Епітаксіальні шари одержувались в режимі вимушеного охолодження розчину-розплаву в області температур 920-970 К на підкладках InAs (III). Швидкість охолодження складала 0,15-0,6 К/хв. Перед епітаксією розплав видержувався на протязі 40- 60 хв. при температурі на 5-10 К більшій ніж температура початку росту з ціллю їх гомогенізації. Густина дислокацій, виявлених хімічним травленням, з сторони верхнього епітаксіального шару змінювалась в межах $(2-5) \times 10^4 \text{ см}^{-2}$. При вирощуванні гетероструктур $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}/\text{InAs}$ використовувалися три розплави росту, причому склад розплаву для буферного шару розрахований так, щоб у твердій фазі в ньому мати концентрацію арсеніда галію більшу ніж в робочих шарах. [2-4] . Товщина буферного шару вибрана нами достатньо

великою (30-80 мкм.) для того, щоб суттєво віддалити робочу р-п область від підкладки. Одержання n-р або р-п переходів проводилось легуванням активної р-області з використанням домішки Zn і Mn. Легування здійснювалось шляхом введення в розплави спеціально приготовлених домішок у вигляді сплаву In + Zn або In + Mn. Сплав з 1% ат. домішки використовувався при слабкому легуванні, а 10 % ат. домішки при сильному легуванні. Для вирощування гетероструктур на основі твердих розчинів $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x\text{P}_y$ ($0 \leq x \leq 0,15$; $0 \leq y \leq 0,18$), випромінювання яких перебиває спектральну область 3,8-5,0 мкм, температурний інтервал був зміщений в сторону більш високих значень (680-720 °C) в порівнянні з традиційним для InAs (500-650 °C). Такий вибір був зумовлений тим, що при температурах пластичності підкладки InAs можна очікувати суттєві зміни у характері дефектоутворення в сторону підвищення якості епітаксialьного шару.

Структурні дослідження в епітаксialьних шарах проводились методом металографічного аналізу на мікроскопі ММР-2Р, який забезпечує збільшення від 100 до 700 раз. Епітаксialьні шари в більшості випадків мали рівномірну дзеркальну поверхню. Концентрація носіїв в шарах одержаних гетероструктур і їх рухливості вимірювалися по методу Холла. Концентрація залишкової донорної домішки в нелегованих зразках складає $(1-2)10^{17} \text{ см}^{-3}$; концентрація дірок в легованих марганцем шарах твердих розчинів находилась в межах $10^{16}-10^{18} \text{ см}^{-3}$; рухливість становить (30-120) $\text{ см}^2/\text{Вс}$ при 300К. Омичні контакти до одержаних епітаксialьних структур створювались двох видів: точкові (діаметром ~150 мкм.) і суцільні з сторони кристала через яку не виводиться випромінювання. В якості матеріала контакта до р- області структур використовувався сплав In-Mn (вклад Mn в сплаві складав 5-15% по масі), контактами до n- області служили In або In-Sn. Контакти наносились методом вакуумного напилення з послідовним відпалюванням у водневому середовищі при температурі 550-600 К [5].

Вольт-Амперна характеристика (ВАХ) р-п переходів є однією з важливих електричних характеристик, які дозволяють судити про механізм протікання струму в шарі об'ємного заряду, оцінити контактну різницю потенціалів, а їх еволюція в часі при струмовому навантаженні створює передумови для встановлення механізмів деградації. ВАХ досліджуваних випромінюючих діодів вимірювалися на постійному струмі до таких густин струму, при яких не проходить розігрів зразка. Основні параметри ВАХ практично не змінюються з зміною складу твердого розчину x, що вказує на

рекомбінаційно-генераційну модель протікання струму через р-п перехід у твердих розчинах.

Для вивчення впливу технологічних особливостей одержання гетероструктур InGaAs/InAs та InAsSbP/InAs на їх випромінюючі характеристики досліджувались спектри електролюмінесценції (ЕЛ).

Дослідження люмінесцентних властивостей показало, що випромінювальна рекомбінація в одержаних гетероструктурах визначається прямими переходами зона провідності - валентна зона в n- матеріалі і зона провідності – акцепторний рівень в р- матеріалі. Форма спектрів ЕЛ вказує на високу структурну досконалість твердих розчинів у всьому діапазоні складів. Ширина спектрів випромінювання р-п переходів зменшується з ростом x (зменшення довжини хвилі випромінювання), що відповідає теоретичним даним [1]. Модуляція світлового потоку проводилася з частотою до 10^7 Гц.

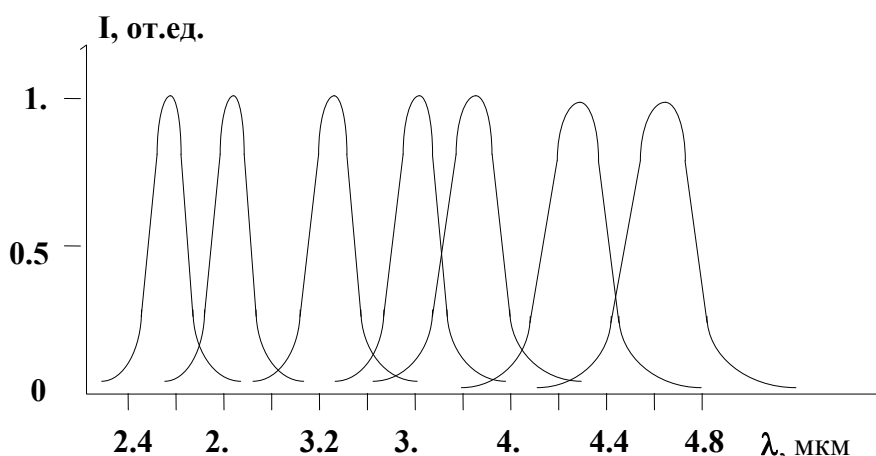


Рис. 1. Спектри електролюмінесценції р-п структур на основі $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As} / \text{InAs}$ та $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y / \text{InAs}$ для різних значень x і y при $T=300\text{K}$.

Проведені експериментальні дослідження по виготовленню активних елементів джерел ІЧ- випромінювання та проведені вимірювання їх електрофізичних і оптичних параметрів дали змогу визначити оптимальні склади твердих розчинів, що забезпечують випромінювання на довжинах хвиль, які представляють практичний інтерес.

Активний елемент з р-п переходом і нанесеними на нього контактами розміщувалися в центрі керамічної підкладки. Збільшення зовнішнього квантового виходу такого джерела та механічний захист активного елемента з контактами забезпечувалося нанесенням напівсферичної поверхні із халькогенідного

напівпровідникового скла (ХНС) систем As-Sb-S-Se-Br, Ge-Sb-S різного складу та ІЧ-оптичних стекел ИКС-31 і ИКС-35 в залежності від довжини хвилі випромінювання ІЧ-джерела (Рис. 2).

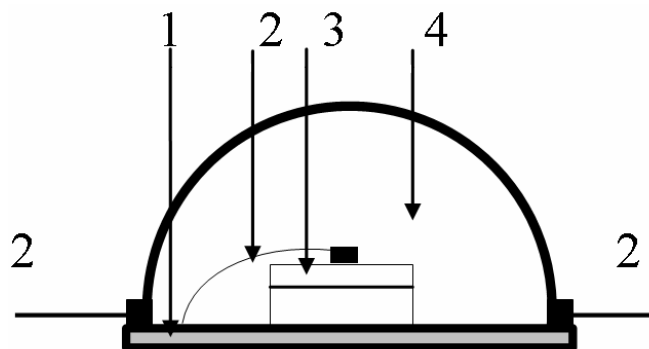


Рис. 2. Конструкція безкорпусного ІЧ-джерела випромінювання:
1- керамічна підкладка; 2- струмоводи; 3- активний елемент;
4- халькогенідне скло.

Проведений аналіз фізико-хімічних і оптичних властивостей стекел показав, що всі вони прозорі в області спектру 0,60-12,5 мкм і мають малий коефіцієнт поглинання в цій області; питомий опір більше 10^9 Ом.см. при $T=300$ К; коефіцієнт лінійного розширення від 12×10^{-6} до $3 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$; стійкі до агресивних середовищ, нерозчинні у воді та розбавлених кислотах. Показник заломлення змінюється від 2,2-3,01, а температура розм'якшення лежить в межах 340-500К. Багаторазовий цикл “плавлення – охолодження” не приводить до появи смуг поглинання в спектрах прозорості цих стекел. Сила зчеплення для всіх вибраних стекел складає не менше 8 кг/см^2 і узгоджується з даними авторів по оптичній герметизації різними матеріалами [3-6].

Така конструкція дала змогу підвищити зовнішній квантовий вихід активного елемента у 3-4 рази і зменшити діаграму направленості джерела випромінювання з 160° до 40° , що збільшило інтенсивність випромінювання вздовж осі випромінювання. Розроблений нами спосіб нанесення захисних покриттів на випромінюючі структури має хорошу відтворюваність геометрії скляного куполу.

Висновки

На основі з'єднань A^3B^5 одержано епітаксіальні гетероструктури InGaAs/InAs і InAsSbP/InAs з утвореними р-п переходами, що дають можливість отримати інфрачервоне випромінювання в області спектру 2,5-5,0 мкм. Досліджено їх електрофізичні та оптичні характеристики, що дало змогу визначити оптимальні склади

твердих розчинів, що забезпечують випромінювання на довжинах хвиль, які представляють практичний інтерес.

Проведений аналіз фізико-хімічних і оптичних властивостей ХНС показав, що вони задовольняють вимогам до діелектричних покриттів ІЧ-джерел випромінювання. Розроблена конструкція джерел випромінювання на наш погляд є однією з найбільш перспективних. Компактність, вібростійкість, малі габарити і маса, енергоспоживання поряд з великим строком служби та швидкодією визначають широкий спектр їх використання, як елементної бази для оптоелектроніки та аналітичного приладобудування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Билинец Ю.Ю. Спектроабсорбционный газоанализатор на основе излучающих диодов ИК-диапазона спектра.-В Сб.Проблемы контроля и защиты атмосферы от загрязнения.-Киев.-1985.-вып.11.-С.89-93.
2. Зотова Н.В., Карандашов С.А., Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н., Билинец Ю.Ю. Люминесцентные свойства эпитаксиальных слоев и р-п структур на основе InGaAs ($0 < x < 0,25$). - ФТП. - 1987. -Т.21. -вып. 6. -С 1079 - 1083.
3. Беца В.В., Билинец Ю.Ю., Химинец В.В., Кондратьева В.Г., Федак В.В., Головач Й.Й. - Оптические элементы на основе халькогенидных стекол.- ЖПС.-1983.-Т.39.-Вып.2.-С.295-299.
4. V.K. Malyutenko, J.Yu. Malyutenko, A.D. Podoltsev, I.N, Kucheryavaya, B.A. Matveev, M.A. Remennyi, N.M. Stus. Current crowding in InAsSb light-emitting diodes.- Applied Physics letters.-V.79.-N.25.-2001.-p.4228-4230.
5. P.P. Shtets, V.I. Fedelezh, V.M. Kabatsij, V.I. Malesh, I.I. Shpak, A.A. Gorvat. Structure, dielectric and photoelastic properties of glasses in the system Ge-Sb-S. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. -V.3. -N4. -2001. -p.937-940.
6. D.I. Bletskan, V.N. Kabatcij, T.A. Sakal, V.A. Stefanovych. Structure and vibrational spectra of $M^{II}A^{IV}B_3^{VI}$ -type crystalline and glassy semiconductors. Journal of Non-Crystalline Solids. - NN 326&327. -2003. -p. 77-82.

УДК 685.31

ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ШВІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ ДЛЯ АКТИВНОГО ВІДПОЧИНКУ

ТОВМАСЯН В.А.

Ужгородська взуттєва фабрика
ШТИМАК Т.В., КРИВИЧ І.Г.
Мукачівський технологічний інститут

Стаття розглядає проблеми пов'язані з дослідженням параметрів, які впливають на міцність швів при їх герметизації. Розглядає питання впливу механічних властивостей адгезиву і субстрату на міцність клейових з'єднань.