



DOI:

LCC TK4125-4399

Концепція широкосмугового світлодіода на основі варізонного напівпровідника

Свірса Д.Ю.

E-mail: august4smile@gmail.com

Анотація. У даній статті розглянуто основних випадки оптичних втрат в світлодіодах, ключові особливості варізонних гетероструктур на основі дослідження двухфотонного поглинання рекомбінаційного випромінювання в варізонних твердих розчинах $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ і впливу рівня збудження на інтенсивність фотолюмінісценції. Данні що виходять з цих дослідженні свідчать про те що відношення числа фотонів, що вийшли з напівпровідника, до числа носіїв, які пройшли через перехід - зовнішня квантова ефективністю $\eta_{\text{зовн}}$ в таких твердих розчинах може досягати 90 - 100%, а спектральний склад можна контролювати зміною рівня збудження. На основі цих даних запропоновано концепцію широкосмугового в спектральному сенсі варізонного випромінювача, що перекриває весь спектральний діапазон від найбільш широкозонного прямозонного напівпровідника, існуючого на сьогоднішній день - GaN з $E_g = 3,5$ eV до найбільш вузькозонного прямозонного напівпровідника InSb з $E_g = 0,24$ eV, що має на увазі випромінювання в діапазоні довжин хвиль $0,36 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 5,16 \text{ мкм}$. Було вирішено використовувати чотирьохкомпонентні тверді розчини. Для реалізації запропонованої концепції найбільш придатними представляються тверді розчини в системах A^3B^5 , як найбільш розроблені в технологічному, та в практичному аспектах. Порівняно запропоновані чотирьохкомпонентні тверді розчини з існуючими світлодіодами білого світла технології RGB, з люмінофорним напленням, багат шаровими тонкоплівковими, та існуючими твердими розчинами. Можливості - випромінювач в передавальному модулі волоконно-оптичних ліній зв'язку при мультиплексуванні каналу передачі на кварцових ОВ, джерело випромінювання зі змінною за допомогою монохроматора довжиною хвилі в дуже широкому спектральному діапазоні, що охоплює ультрафіолетовий, видимий і інфрачервоний ділянки спектра, білий світлодіод, для використання в світлодіодних лампах

Abstract. In this article the main cases of optical losses in light emitting diodes are considered, the key features of varicose heterostructures based on the study of two-photon absorption of recombination radiation in varix solid solutions of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ and the effect of the excitation level on the intensity of photoluminescence. The data derived from this study indicate that the ratio of the number of photons leaving the semiconductor to the number of carriers that passed through the transition - the external quantum efficiency of η_{zn} in such solid solvents can reach 90-100%, and the spectral composition can be controlled by a change in the level excitation. On the basis of these data, a broadband concept in the spectral sense of the variogenic emitter is proposed that overlaps the entire spectral range from the most widely-zoned straightforward semiconductor existing to date - GaN with $E_g = 3.5 \text{ eV}$ to the narrow narrowband prism band semiconductor InSb with $E_g = 0.24 \text{ eV}$, which implies radiation in the wavelength range of $0.36 \text{ } \mu\text{m} \leq \lambda \leq 5.16 \text{ } \mu\text{m}$. It was decided to use a four-component solid solution. In order to realize the proposed concept, solid solutions in the A3B5 systems, as most developed in the technological and practical aspects, are the most suitable. The four-component solid solutions with existing white RGB LEDs, with luminophores, multilayer thin film, and existing solid solutions, are offered in a comparative manner. Possibilities - the emitter in the transmitter module of the fiber-optic communication lines when multiplexing the channel of transmission to quartz OV, a source of radiation with a variable with the help of a monochromator wavelength in a very wide spectral range covering the ultraviolet, visible and infrared spectral regions, a white LED for use in LED lamps

Ключові слова. світловипромінюючі гетеростури, варізонні напівпровідники, перевипромінювання.

Keywords. light-emitting heterostructure, graded-gap semiconductor, reradiation.

Вступ. За останні роки в мережах зв'язку в усьому світі впроваджуються волоконно-оптичні системи передачі даних. Висока несуча частота обумовлена широкою смугою пропускання, мале загасання сигналу, таке затухання з невеликою дисперсією дозволяють побудувати без ретрансляції лінії, протяжність яких може скласти більше 100 км. Високий захист від перешкод, тому що виготовлене волокно з діелектричного матеріалу, який не сприймає електромагнітні перешкоди від різних можливих джерел, здатних індукувати будь-яким чином електромагнітне випромінювання. Інформаційна безпека. Перед галуззю волоконно-оптичних систем зв'язку поставлені наступні задачі: поліпшення якості переданих даних, збільшення числа каналів, спрощення конструкції передавального модуля. В даний час оптичні системи і кабелі зв'язку використовують майже у всіх сферах зв'язку: інтернет мережі, цифрове телебачення, зв'язок між автоматичними телефонними станціями.

Об'єкт дослідження. Вплив процесу перевипромінювання на параметри випромінювальної рекомбінації в варізонних напівпровідникових структурах.

Основна частина. З експериментальних даних [1] випливає, що понадлінійне збільшення інтегральної інтенсивності випромінювальної рекомбінації з рівнем збудження, її розмірний ефект, пов'язані з внеском перевипромінювання при двухфотонному поглинанні, збільшенням внутрішнього квантового виходу, особливостями виведення випромінювання, що забезпечують значення зовнішнього квантового виходу випромінювання теоретично до 90 - 100 %, в варізонних твердих розчинах, дозволяє сформулювати концепцію понадширококутового випромінювача, що реалізується на одному епітаксiальному шарі варізонного напівпровідника з прямою структурою зон.

Суть концепції полягає в створенні ширококутового в спектральному сенсі варізонного твердого розчину, що перекриває весь спектральний діапазон від найбільш широкозонного прямозонного напівпровідника, існуючого на сьогоднішній день - GaN з $E_g = 3,5$ eV до найбільш вузькозонного прямозонного напівпровідника InSb з $E_g = 0,24$ eV, що має на увазі випромінювання в діапазоні довжин хвиль $0,36 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 5,16 \text{ мкм}$. Отже було вирішено використовувати чотирьохкомпонентні тверді розчини.

Для реалізації запропонованої концепції найбільш придатними представляються тверді розчини в системах A^3B^5 , як найбільш розроблені в технологічному, та в практичному аспектах.

GaN - перспективний широкозонний матеріал, активне дослідження якого почалося відносно недавно. Розвиток технології йде дуже швидкими темпами: за останні роки квантовий вихід випромінювання кристалів на основі GaN-структур виріс більш ніж в шість разів. Спектр випромінювання GaN ($E_g = 3,5$ eV) знаходиться в ближньому ультрафіолетовому діапазоні, що в поєднанні з правильно підібраним вузькозонним компонентом дозволить отримати випромінювання всього видимого діапазону.

Відповідними вузькозонними матеріалами для чотирьохкомпонентної структури є з'єднання A^3B^5 типу - антимонід індію InSb ($E_g = 0,24$ eV), що є найбільш вузькозонним, та інші, що в поєднанні з широкозонним GaN перекривають весь видимий спектр - фосфід індію InP ($E_g = 1,35$ eV), арсенід галію GaAs ($E_g = 1,43$ eV) і антимонід алюмінію AlSb ($E_g = 1,58$ eV).

З експериментальних результатів [1-2] бачимо, що корисні особливості процесу випромінювальної рекомбінації які мають місце в варізонних твердих розчинах $Al_xGa_{1-x}As$ відбуваються, в основному, при значеннях напруженості вбудованого квазіелектричного поля $E = (E_g^{\max} - E_g^{\min}) \cdot (e \cdot d)^{-1} = 150-400 \text{ В/см}$. При таких значеннях E товщина варізонних шарів Ga_xNyIn_{1-x}

Sb_{1-y} при зміні складу в межах $0 \leq x \leq 1$ і $0 \leq y \leq 1$, повинна становити $80 \text{ мкм} \leq x \leq 220 \text{ мкм}$, що видається цілком достатнім, для ефективної компенсації невідповідності по періоду решітки.

Ширина забороненої зони E_g GaAs найближча до кордону червоного випромінювання, що буде корисним для створення твердого розчину спектральний склад якого дозволить використовувати його в якості білого світлодіода, а відмінність з періодом решітки GaN менше ніж у інших запропонованих матеріалів. Перші дослідження [3] показали, що при зміні молярної частки x в твердому розчині $\text{GaAs}_{1-x}\text{N}_x$ інтенсивність люмінесценції матеріалу швидко деградує зі збільшенням складу N через утворення безвипромінювальних точкових дефектів.

Розглянемо недосліджені тверді розчини $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}$ та $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{Al}_{1-x}\text{Sb}_{1-y}$ зміна молярної частки компонентів яких в інтервалах $0 \leq x \leq 1$ і $0 \leq y \leq 1$ дозволяє реалізувати твердий розчин з будь-яким значенням E_g в інтервалі $1,35 \text{ eV} \leq E_g \leq 3,5 \text{ eV}$ для $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}$, та $1,58 \text{ eV} \leq E_g \leq 3,5 \text{ eV}$ для $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{Al}_{1-x}\text{Sb}_{1-y}$ (рис.3.7). AlSb має найбільшу, порівняно з іншими запропонованими компонентами, відмінність параметрів решітки і коефіцієнти температурного розширення, таким чином з'єднання $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}$ при вирощуванні матиме менше дефектів.

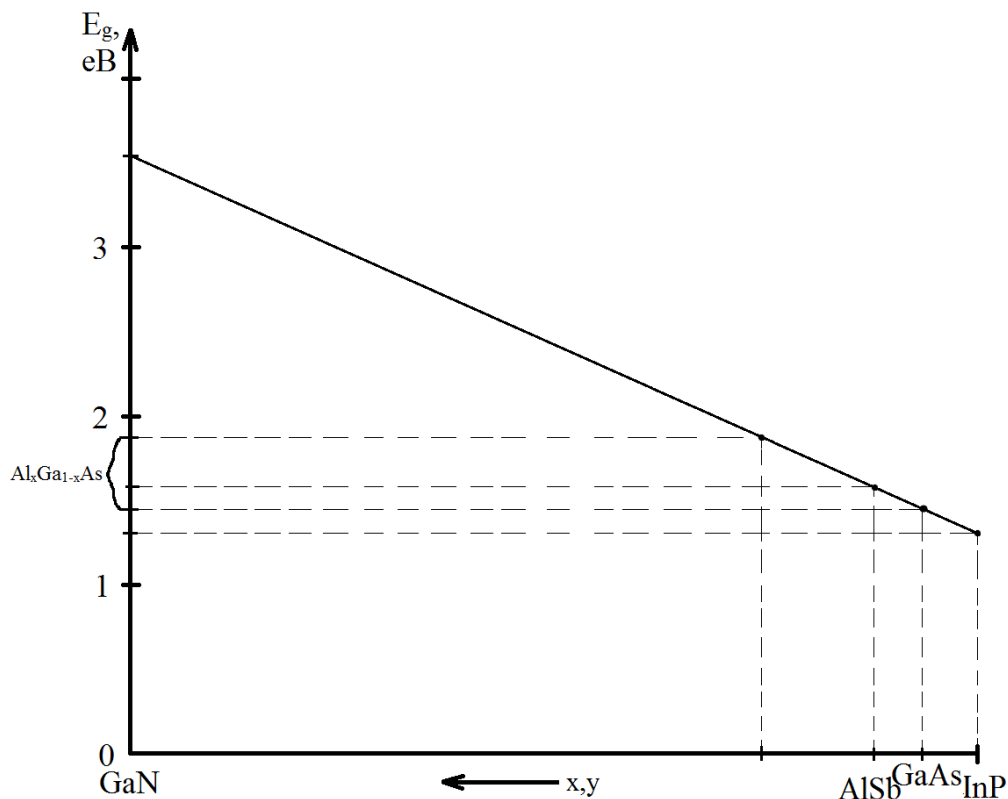


Рис. 1. Енергетична діаграма зміни молярної частки компонентів

Довжина хвилі випромінювання чотирьохкомпонентної системи $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}$ змінюється в інтервалі від 365 нм (GaN) до 910 нм (InP). Це відповідає області видимого спектру з заходом в ультрафіолетову і інфрачервону області. Сучасний рівень досягнутий в області напівпровідникових джерел багато в чому визначається прогресом в їх технології. Всі структури з гетеропереходами вирощуються епітаксійними методами - рідинною, газовою та молекулярно-променевою епітаксією.

Світловий потік люмінісценції має вихід в широкозонній області, основна умова виходу - кут випромінювання має бути менше критичного кута θ_c , таким чином ми отримуємо досить вузьку діаграму спрямованості [4]. Завдяки перевипромінненню обрана структура буде мати вкрай високий зовнішній квантовий вихід, який може досягати $\eta_{\text{зовн}} \approx 100\%$. Для такого результату необхідно зробити структуру якомога товсту, щоб збільшити число актів перевипроміннення. Велика товщина до того-ж дає значний приріст міцності. Нанесення відбиваючої поверхні на вузькозонну область після виготовлення контактів, також призведе до збільшення $\eta_{\text{зовн}}$.

У технологічному плані створення ширококутового варізонного твердого розчину видається завданням, що цілком реалізується легше, ніж вирощування якісних структур з різкими гетеропереходами. Проблемою останніх є невідповідність параметра решітки a . Невідповідність параметрів a є одним з важливих обмежень вирощування якісних гетероструктур, що не містять підвищених концентрацій дефектів в околиці гетеромежі. З метою мінімізації дефектів структури використовуються складні багатокомпонентні композиції - четверні тверді розчини з ізоперіодичною кристалічною структурою в обмеженому інтервалі зміни змісту компонентів. Розроблені четверні тверді розчини забезпечують незначну зміну ширини забороненої зони по товщині шару (AlGaPAs (GaAs), AlGaNAs (GaAs), GaInPAs (InP), InPAsSb (InAs), GaInAsSb (GaSb)).

Проблема кристалічної досконалості через невідповідність параметра a вирішується використанням варізонних твердих розчинів, в яких можлива значна зміна періоду решітки a зі складом компенсується його плавним розподілом по всій товщині шару. Для створення якісних джерел випромінювання необхідно забезпечити кристалографічну досконалість матеріалу і відсутність в ньому хімічних домішок з глибокими рівнями в забороненій зоні. Для отримання ідеального гетеропереходу обидва його матеріали повинні утворювати ізоморфну і ізоперіодичну пару.

Спектральний склад випромінювання гетероструктур змінюється в залежності від рівня збудження [2], що дає можливість контролювати його. Це дозволить змінювати кольорову температуру білого світла. Так само є можливість отримати світлодіод необхідного спектрального складу видаливши частину широкозонної або вузькозонної області, тим самим зменшивши діапазон довжин хвиль до необхідного, хоча видалення великої частини може позначитися на квантовому виході, через зменшення протяжності кристала і відповідно кількості актів перевипромінювання.

Найбільш досліджені на сьогоднішній день варіантні тверді розчини $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, як видно з рис. 3.7, мають в порівнянні з будь-якою із запропонованих структур вкрай малу ширину спектра (0,65 мкм – 0,85 мкм при зміні складу твердого розчину в інтервалі $0 \leq x \leq 0,37$). Через те, що при $x > 0,37$ ці тверді розчини є непрямозонними, вони відповідають ідеї концепції лише частково. Існуючі на сьогодні світлодіоди білого світла мають ряд недоліків в порівнянні з запропованою. Багатошарові тонкоплівкові структури в силу багатоетапності- їх створення несуть з собою досить складну, і дорогу технологію. У білих світлодіодів з люмінофорами досить важко точно проконтролювати рівномірність нанесення люмінофора в технологічному процесі, як наслідок, не контролюється колірна температура, в той час як в запропонованій структурі можна контролювати спектральний склад. RGB технологія потребує створення 3-х окремих гетероструктур червоного, зеленого та синього кольорів, що є досить трудомістким, та ресурсозатратним.

Висновки. Запропоновано концепцію ширококутового випромінювача, який має досить великі можливості: випромінювання в широкому спектральному діапазоні від ультрафіолетової до інфрачервоної області, можливість контролювати спектральний склад за допомогою зміни рівня збудження, та в перспективі має майже 100% квантовий вихід. Основними функціями можуть бути наступні:

- Альтернатива сучасним білим світлодіодам, які використовуються в світлодіодних лампах. Для цієї мети краще всього підійде $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{In}_{1-x}\text{P}_{1-y}$.

- Може бути використаний як джерело випромінювання зі змінною за допомогою монохроматора довжиною хвилі в дуже широкому спектральному діапазоні, що охоплює ультрафіолетовий, видимий і інфрачервоний ділянки спектра - $\text{Ga}_x\text{N}_y\text{Al}_{1-x}\text{Sb}_{1-y}$. Ця особливість буде корисна в медицині та біології.

- Випромінювач в передавальному модулі волоконно-оптичних ліній зв'язку при мультиплексуванні каналу передачі на кварцових ОВ (рис. 3.8). Модуль містить ширококутовий

випромінювач, випромінювання якого направляється на дисперсуючий елемент. На відстані від димперсірующего елемента, що залежить від режиму передачі, встановлюється дільник спектра, який формує окремі світлові промені в різних ділянках спектра випромінювання. Отримані промені вводять в оптичні волокна великого діаметра, кожне з яких приєднано до інтерферометра Маха-Цендера, які після модуляції направляються на вхід мультиплексора.

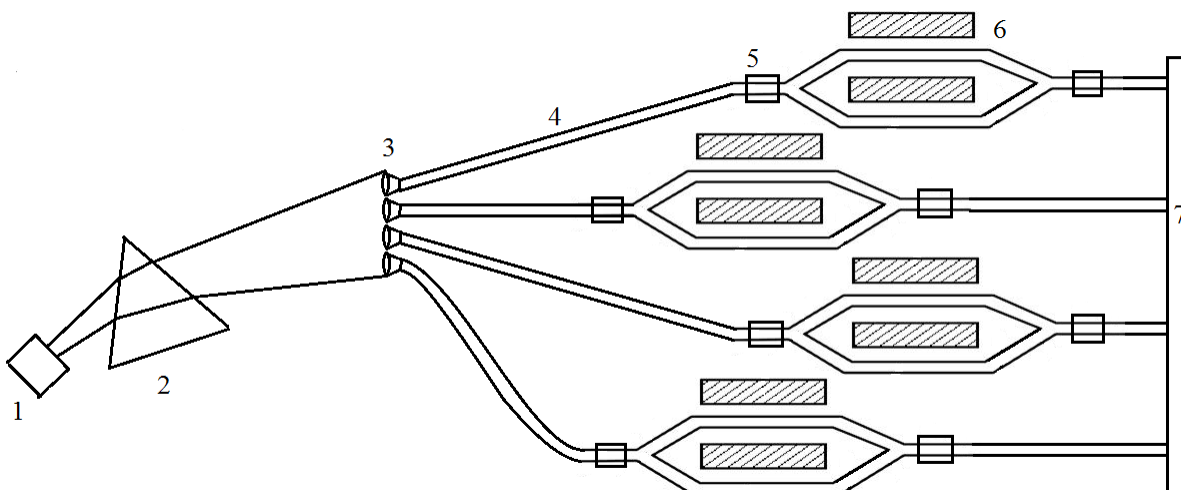


Рис. 2. Схама передавального модуля

1 – випромінювач; 2 – диспесуючий елемент; 3 – дільник спектру; 4 – оптичне волокно; 5 – конектор; 6 – модулятор; 7 – мультиплексор;

Заява про конфлікт інтересів: Автори стверджують, що немає конфліктів інтересів щодо публікації цієї статті.

REFERENCES:

- 1) Коваленко В.Ф., Шутов С.В. Физика и техника полупроводников, 2003, том 37, вып. 1
- 2) Коваленко В.Ф., Миронченко А.Ю., Шутов С.В. Физика и техника полупроводников, 2002, том 36, вып. 5
- 3) Toivonen J., Growth and properties of GaAsN structures, Espoo, Finland 2003
- 4) Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1989. — 220 с.

100% Unique

Total 14864 chars (2000 limit exceeded) , 242 words, 9 unique sentence(s).

Essay Writing Service - Paper writing service you can trust. Your assignment is our priority! Papers ready in 3 hours! Proficient writing: top academic writers at your service 24/7! Receive a premium level paper!

Results	Query	Domains (original links)
Unique	DOI: LCC TK4125-4399 Концепція широкосмугового світлодіода на основі варізонного напівпровідника Свірс	-
Unique	E-mail: august4smile@gmail.com Анотація	-
Unique	Було вирішено використовувати чотирьохкомпонентні тверді розчини	-
Unique	на основі дослідження двухфотонного поглинання рекомбінаційного випромінювання в варізонних твердих розчинах $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ і впливу рівня	-
Unique	в таких твердих розчинах може досягати 90 - 100%, а спектральний склад можна контролювати зміною	-
Unique	що має на увазі випромінювання в діапазоні довжин хвиль $0.36 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 5.16$	-
Unique	Для реалізації запропонованої концепції найбільш придатними представляються тверді розчини в системах A_3B_5, як найбільш	-
Unique	Порівняно запропоновані чотирьохкомпонентні тверді розчини з існуючими світлодіодами білого світла технології RGB, з люмінофорним	-
Unique	діапазоні, що охоплює ультрафіолетовий, видимий і інфрачервоний ділянки спектра, білий світлодіод, для використання в світлодіодних	-