

УДК 621.315.592

КРЕМНІЄВИЙ ФОТОННИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ ІЧ ДІАПАЗОНУ***С. В. ЧИРЧИК**

*Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. Михайла Бойчука
Україна, Київ, 01103, вул. Михайла Бойчука, 32*

Анотація. У роботі запропоновано підхід по створенню високоякісних дешевих випромінювачів на середній (MW) і дальній (LW) інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектру. Запропоновано фотонний випромінювач ІЧ діапазону на основі процесу перетворення світла з області фундаментального поглинання напівпровідником в інфрачервоне (light down-conversion). Ефективність такого перетворення не залежить від квантового виходу міжзонної рекомбінації, зростає при збільшенні температури випромінювача, та має оптичне керування. Пристрій має велику робочу площу поверхні зі спектральними характеристиками, що не залежать від ширини забороненої зони напівпровідника. Наведено розрахункові і експериментальні залежності потужності кремнієвого фотонного випромінювача в діапазонах 3–5 мкм і 8–12 мкм від температури та інтенсивності збуджуючого випромінювання. Приведено порівняння параметрів відомих і запропонованого випромінювача та технологічний опис приладу.

Ключові слова: монокристалічний кремній; фотонний випромінювач ІЧ діапазону; просвітлююче покриття

1. ВСТУП

Для перевірки інфрачервоних систем, що працюють із частотою модуляції більше 1 кГц у вікнах прозорості атмосфери 3–5 (MW) і 8–12 мкм (LW), потрібні випромінювачі з відповідною швидкодією і спектром. Напівпровідникові світловипромінюючі прилади відносяться до числа найбільш перспективних джерел випромінювання сучасних оптоелектронних пристроїв [1]. Принцип їх дії базується переважно на бар'єрних механізмах інжекції нерівноважних носіїв заряду ($p-n$, гетероперехід) і збудженні люмінесценції (фотонні випромінювачі).

На основі широкозонних гетероструктур GaAlAs/GaAs, InGaAs/InP, GaAlAsSb/GaSb та ін., розроблено неохолоджувані електролюмінесцентні випромінюючі діоди для видимого і ближнього інфрачервоного (ІЧ) діапазону спектру ($\lambda < 3$ мкм). Для створення більш довгохвильових джерел випромінювання необхідно використовувати вузькозонні напівпровідники. Однак, в цих матеріалах бар'єрні механізми інжекції носіїв заряду стають малоефективними при кімнатних і більш високих температурах. При цьому малий квантовий вихід люмінесценції обумовлений домінуючою в цих умовах безвипромінювальною Оже-рекомбінацією [2, 3], а через ефект

* Експериментальні дослідження проведено в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ПОДЯКИ

Автор висловлює подяку співробітникам Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України за співпрацю.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. N. Schäfer, J. Scheuermann, R. Weih, J. Koeth, S. Höfling, “High efficiency mid-infrared interband cascade leds grown on low absorbing substrates emitting >5 mw of output power,” *Opt. Eng.*, vol. 58, no. 11, p. 1, 2019, doi: [10.1117/1.OE.58.11.117106](https://doi.org/10.1117/1.OE.58.11.117106).
2. Н.Д.Ильинская *et al.*, “Фотодиоды на основе InAsSb для длин волн 2.6-2.8 μm ,” *Журнал технической физики*, Т. 88, № 2, с. 234, 2018, doi: [10.21883/JTF.2018.02.45414.2371](https://doi.org/10.21883/JTF.2018.02.45414.2371).
3. М.П.Михайлова, К.Д.Моисеев, Ю. П. Яковлев, “Открытие полупроводников InAsSb : физические свойства и применение (обзор),” *Физика и техника полупроводников*, Т. 53, № 3, с. 291, 2019, doi: [10.21883/FTP.2019.03.47278.8998](https://doi.org/10.21883/FTP.2019.03.47278.8998).
4. V. K. Malyutenko *et al.*, “Current crowding in InAsSb light-emitting diodes,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 79, no. 25, pp. 4228–4230, 2001, doi: [10.1063/1.1424065](https://doi.org/10.1063/1.1424065).
5. O. M. Williams, “Dynamic infrared scene projection: a review,” *Infrared Phys. Technol.*, vol. 39, no. 7, pp. 473–486, 1998, doi: [10.1016/S1350-4495\(98\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4495(98)00041-3).
6. V. K. Malyutenko *et al.*, “Synthetic ir signature control using emissivity enhancement techniques,” in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2004, vol. 5408, p. 118, doi: [10.1117/12.537758](https://doi.org/10.1117/12.537758).
7. V. K. Malyutenko, V. V. Bogatyrenko, O. Y. Malyutenko, S. V. Chyrchuk, “Si infrared pixelless photonic emitter,” in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2005, vol. 5957, p. 59570D, doi: [10.1117/12.622104](https://doi.org/10.1117/12.622104).
8. V. K. Malyutenko, “Si photonics expands to mid-wave and long-wave infrared: the fundamentals and applications,” in *Silicon Photonics XI*, 2016, vol. 9752, p. 97521D, doi: [10.1117/12.2208125](https://doi.org/10.1117/12.2208125).
9. С.В.Чирчик, “Экспресс-метод определения рекомбинационных параметров в технологических пластинах кремния,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 55, № 3, С. 43–47, 2012, doi: [10.20535/S0021347012030053](https://doi.org/10.20535/S0021347012030053).
10. О.В.Вакуленко, М.П.Лисица, “Дослідження інфрачервоного поглинання в кремнії при високих температурах,” *Український фізический журнал*, Т. 9, № 12, С. 1300–1305, 1964.
11. М.П.Лисица, В.Н.Малинко, Е.В.Пидлисний, Г.Г.Цебуля, “Поглощение света свободными носителями в кремнии при высоких температурах с учетом приповерхностных эффектов,” *Український фізический журнал*, Т. 14, № 11, С. 1915–1917, 1969.
12. А.И.Ансельм, *Введение в Теорию Полупроводников: Учебное Пособие*, 4 ред. Санкт-Петербург: Лань, 2017.
13. K. Rajkanan, R. Singh, J. Shewchun, “Absorption coefficient of silicon for solar cell calculations,” *Solid-State Electron.*, vol. 22, no. 9, pp. 793–795, 1979, doi: [10.1016/0038-1101\(79\)90128-X](https://doi.org/10.1016/0038-1101(79)90128-X).
14. H. R. Philipp, E. A. Taft, “Optical constants of silicon in the region 1 to 10 eV,” *Phys. Rev.*, vol. 120, no. 1, pp. 37–38, 1960, doi: [10.1103/PhysRev.120.37](https://doi.org/10.1103/PhysRev.120.37).
15. F. A. Johnson, “Lattice bands in diamond and zinc blende crystals,” in *Progress in semiconductors. Volume 9*, London: Heywood, 1965, p. 235.
16. Р.Смит, *Полупроводники*, 2 ред. Москва: Мир, 1982.
17. В.И.Старосельский, *Физика Полупроводниковых Приборов Микроэлектроники*. Москва: Юрайт, 2019.
18. R. M. Robinson, J. Oleson, L. Rubin, S. W. McHugh, “MIRAGE: system overview and status,” in *Technologies for Synthetic Environments: Hardware-in-the-Loop Testing V*, 2000, vol. 4027, pp. 387–398, doi: [10.1117/12.391708](https://doi.org/10.1117/12.391708).

Поступила в редакцию 30.03.2020

После доработки XX.XX.2020

Принята к публикации XX.10.2020