

ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ НАДПРОВІДНИХ ФОТОННИХ ДЕТЕКТОРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто технології побудови надпровідних фотонних детекторів, які високочутливі до випромінювання оптичного та інфрачервоного діапазонів хвиль і характеризуються часом відновлення та точністю вимірювання, що на порядок кращі за існуючі аналоги.

Ключові слова: SNSPD, SPD, БОСП, фотодетектор.

Abstract

The technology of building superconducting photonic detectors, which are highly sensitive to the radiation of the optical and infrared wavelength bands, are characterized by time of recovery and measurement accuracy, which is better than the existing analogs.

Keywords: SNSPD, SPD, FOTS, photodetector.

Вступ

Надпровідні фотонні детектори (SSPD) характеризуються підвищеною чутливістю до випромінювання оптичного та інфрачервоного діапазонів хвиль і часом відновлення та точністю вимірювання, що на порядок кращі за існуючі аналоги. Крім цього, вказані пристрої працюють при температурі рідкого гелію (4,2 К), яка знаходиться в межах досяжності сучасних технологій охолодження [1].

SNSPDs характеризуються високим потенціалом функціональних характеристик в інфрачервоному діапазоні, що дозволяє вирішувати важливі наукові задачі. Тому SNSPDs стали предметом багатьох наукових досліджень, що підтверджує актуальність даної роботи.

Метою роботи є класифікація технологій та визначення пріоритетних напрямків дослідження приймачів слабо інтенсивних сигналів в оптичному діапазоні частот.

Результати дослідження

Крім надпровідних фотонних детекторів для побудови оптичних приймачів слабо інтенсивних оптичних сигналів використовуються болометри на основі надпровідного переходу (TES – transition edge sensor). Основним елементом цих пристроїв є слабкий електричний контакт (надпровідний зв'язок не тунельного типу) між надпровідними електродами.

В якості фотонних детекторів на основі напівпровідникових матеріалів використовуються лавинні фотодіоди, що функціонують в режимі Гейгера.

Модель «гарячих електронів» є найбільш актуальною для незрівноважених надпровідників, що утримуються при температурі T , що наближається до температури надпровідного переходу T_c . При цьому, квазічастинки та фонони можна описати залежними від температури функціями розподілу нормального стану, що володіють власною ефективною температурою. Передбачається, що електронна та фононна ефективні температури (T_e і T_p) встановлюються миттєво та рівномірно у всьому пристрої. Це припущення вказує на те, що в кожній підсистемі існує механізм швидкої термостабілізації.

Необхідно зауважити, що SPD володіють значною кількістю неідеальних характеристик, тому необхідно досить точно визначати ефективність роботи таких детекторів. Найбільш очевидним показником продуктивності SPD є ефективність детектування (η) – значення ймовірності, що буде зареєстровано сигнал при надходженні фотонів на вхід детектора. На практиці η менше 100% та залежить від довжини хвилі λ вхідних фотонів. Також, необхідно враховувати втрати фотонів в середовищі передавання з урахуванням критерію ефективності каналу передавання (η_{coupling}).

Ефективність поглинання фотонів в оптичному приймачі ($\eta_{\text{absorption}}$) залежить від типу матеріалу та конструкції детектора. В результаті, ймовірність того, що детектор згенерує вихідний електричний сигнал після поглинання фотону називають ймовірністю реєстрації ($\eta_{\text{registering}}$). Врахувавши всі ці фактори, можна визначити загальну ефективність детектування за виразом (η_{sde}):

$$\eta_{\text{sde}} = \eta_{\text{coupling}} \cdot \eta_{\text{absorption}} \cdot \eta_{\text{registering}}$$

При цьому, власну ефективність детектування пристрою (η_{dde}) можна визначити за формулою

$$\eta_{\text{dde}} = \eta_{\text{absorption}} \cdot \eta_{\text{registering}}$$

Тому η_{sde} та η_{dde} рівні лише при ідеальних оптичних з'єднаннях, тобто $\eta_{\text{coupling}} = 1$. Ефективність детектування оптичного пристрою, η_{dde} , часто називають "квантовою ефективністю".

Також можна використовувати інші показники ефективності, які кількісно характеризують продуктивність SPD. Розсіяні оптичні сигнали та електричний шум можуть спотворювати процес детектування вхідних фотонів. Такі похибки процесу детектування називають темновими відліками, а їх кількісну характеристику називають рівнем темнових відліків (DCR) [2].

Отже, DCR для SNSPD є одним з найважливіших критеріїв продуктивності. Крім того, важливою характеристикою SPD є джитер.

Часова затримка між приходом фотона в SPD та генерацією вихідного імпульса від SPD характеризує його часову роздільну здатність. Невизначеність цієї затримки характеризується значенням джитеру (Δt) SPD. Крім того, реальні SPD характеризуються часом відновлення (τ), який характеризує швидкість реєстрації фотонів та максимальну швидкість здійснення відліків SPD.

Збільшення розмірів SNSPDs зумовлює підвищення значення власного джитеру. Просторова неоднорідність параметрів нанопровідника призводить до різних значень опору матеріалу в процесі утворення «гарячого п'ятна», що зумовлює різні значення часу наростання фронту імпульса та, в результаті, призводить до збільшення значення власного джитеру. За рахунок підвищення критичних струмів можна зменшити значення власного джитеру оптичного пристрою [3].

В основі інших технологій побудови високочутливих оптичних пристроїв є приймачі на основі лавинних фотодіодів (SPADs) та надпровідних болометрів (TES). У порівнянні з InGaAs SPAD SNSPD забезпечує кращий компроміс між системною ефективністю детектування, рівнем темнових відліків, максимальною швидкістю виконання відліків та значенням власного джитеру, а також дозволяє детектувати оптичне випромінювання в більш широкому діапазоні довжин хвиль. У порівнянні з TES SSPD володіє кращою швидкістю та точністю визначення часу детектування фотонів.

Надпровідні фотонні детектори за рахунок підвищеної чутливості в робочому діапазоні ВОСП, низького рівня темнових відліків, низького значення власного джитеру забезпечують нові можливості для вимірювання характеристик ВОЛЗ.

Висновки

SNSPDs характеризуються підвищеною чутливістю та низьким рівнем темнових відліків, низьким значенням власного джитеру та коротким часом відновлення. Тому, ці пристрої можуть успішно використовуватись в криптографії (QKD), оптичних квантових розрахунках, діагностиці квантових емітерів, налагодженні космічних каналів зв'язку та тестуванні інтегральних схем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г. Г. Методи та засоби обробки високочастотних сигналів. Г. Г. Бортник, В. М. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 132 с.
2. Бортник Г. Г. Транспортні телекомунікаційні технології: навчальний посібник / Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2017 – 162 с.
3. Васильківський М.В. Методи побудови високошвидкісних волоконно-оптичних трактів/. М. В. Васильківський, Г.Л. Антонюк, О.С. Полуденко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП_17_2017) XVII міжнародної науково-технічної конференції, 8-13 червня 2017 р. – Матеріали – Одеса. – 2017 с. 187

Васильківський Микола Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com.

Vasylykivskiy Mikola Volodymyrovych – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com