

УДК (621.382.232)

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАМІНИ МІДНОГО ТЕПЛОВІДВОДУ АЛМАЗНИМ У КРЕМНІЄВИХ ЛПД

П. О. Сай

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ

Україна, м. Київ

sajpasha@gmail.com

За допомогою методу кінцевих елементів виконано розрахунки теплового режиму імпульсного лавинно-пролітного діода 8-міліметрового діапазону довжин хвиль з потужністю генерації до 30–35 Вт. Показано, що при заміні мідного тепловідводу алмазним товщиною 100 мкм вдається досягнути зменшення температури $p-n$ -переходу на 65°C . В свою чергу це сприяє збільшенню часу напрацювання на відмову даного приладу більш ніж на порядок.

Ключові слова: лавинно-пролітний діод, метод кінцевих елементів, кремній, алмаз.

Кремнієві лавинно-пролітні діоди (ЛПД) завдяки добре розробленій технології виробництва залишаються найпоширенішими складовими елементами твердотільних генераторів міліметрового діапазону довжин хвиль. Ці діоди широко використовуються в системах навігації, телекомунікації, радіолокації, радіоспектроскопії та багатьох інших системах. Використання імпульсного режиму роботи дає можливість генерації в діапазоні частот 20...300 ГГц з вихідною НВЧ потужністю понад 20 Вт та густиною струмів до 40 кА/см^2 [1]. Це робить необхідними дослідження особливостей теплового режиму діода, адже перегрів активної області діода є визначальним фактором, що обмежує час його безвідмовної роботи. Відомо, що залежність середнього часу безвідмовної роботи (D) від температури (T) $p-n$ -переходу ЛПД визначається як $\lg(D)=10-(T/40) K$ [2], тобто підвищення температури на кожні $40 K$ спричиняє зменшення часу безвідмовного напрацювання на порядок. Відомі дослідження [1–4] вказують на максимально допустиму температуру перегріву $p-n$ -переходу та оптимальні параметри імпульсного режиму живлення даних приладів, але для суттєвого підвищення терміну їх експлуатації та вихідних характеристик необхідно дослідити перспективність оптимізації теплових параметрів прилеглих до діода шарів, наприклад, використанням алмазних основ. Тому метою даної роботи є визначення впливу матеріалу тепловідводу на максимальну температуру активної області потужного імпульсного двопротітного кремнієвого ЛПД в моделі, запропонованій в [1], яка з високою точністю відтворює теплові процеси в даному діоді.

Схема досліджуваної моделі діода на мідному тепловідводі показана на рис. 1. В даній моделі зроблене припущення, що тепла потужність виділяється в нескінченно тонкій області $p-n$ -переходу. Режим живлення підбирався з врахуванням обмежень, отриманих в [1], та представляв собою меандр з тривалістю одного імпульсу 300 нс та шпаруватістю 30. Потужність в імпульсі сягала 600 Вт.

Розрахунок теплового режиму проводився в середовищі ANSYS Workbench [5]. Даний програмний комплекс використовує метод кінцевих елементів для обчислення нестационарного теплового режиму ЛПД та дає можливість визначити залежність максимальної температури активної області від часу, враховуючи вхідні теплові характеристики шарів кремнію та тепловідводу. Для розрахунку теплового поля об'ємна модель розбивалась на велику кількість елементів, які повинні бути достатньо малими для однозначного визначення температурного розподілу в кожному елементі.

На рис. 2 наведено порівняння залежностей температури активної області діода від часу дії одного імпульсу

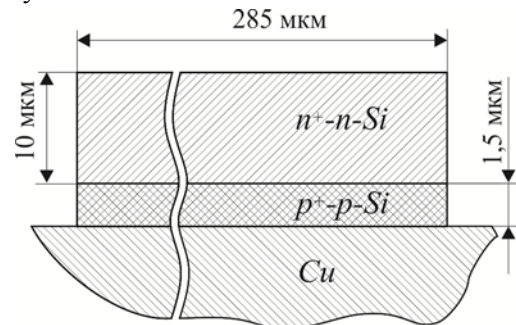


Рис. 1. Схема моделі ЛПД

при його охолодженні у випадку застосування мідного тепловідводу (а) та алмазної підкладки (б) товщиною 100 мкм. Дані матеріали суттєво відрізняються тепловими характеристиками, насамперед значенням коефіцієнта теплопровідності ($\lambda_{Cu}=390\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, $\lambda_C=2000\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$) та значенням питомої теплоємності ($C_{Cu}=385\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, $C_C=472\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$), що спричиняє суттєве зменшення температури нагріву вже після першого імпульсу до 200°C при температурі навколишнього середовища 20°C . Завдяки використанню алмазного шару додатковий нагрів за час встановлення режиму вдалося зменшити більш ніж на 65°C (рис. 3), що дасть можливість збільшити час напрацювання на відмову більш ніж на порядок [2].

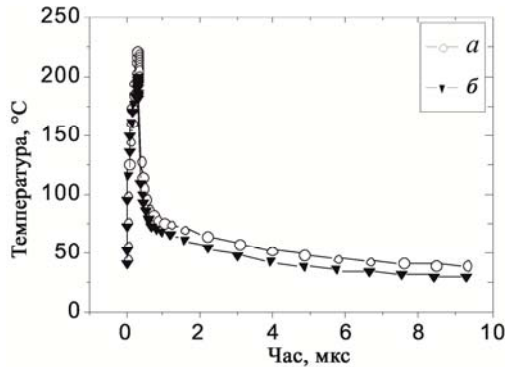


Рис. 2. Зміна максимальної температури $p-n$ -переходу ЛПД з мідним тепловідводом (а) та з алмазним шаром (б) при дії одного імпульсу

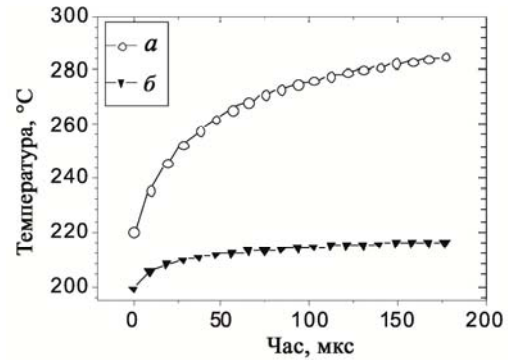


Рис. 3. Зміна максимальної температури $p-n$ -переходу ЛПД з мідним тепловідводом (а) та з алмазним шаром (б) під час встановлення режиму

Використавши комп'ютерне моделювання, було розраховано тепловий режим імпульсного кремнієвого ЛПД 8-міліметрового діапазону довжин хвиль з потужністю генерації до 30—35 Вт. Встановлено, що при зміні мідного тепловідводу алмазним максимальний розігрів ЛПД в першому імпульсі відрізняється на 20°C , однак при довгостроковій роботі вигода суттєвіша, що в свою чергу може істотно підвищити надійність даних діодів та подовжити термін їх експлуатації.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Беляев А. Е., Басанец В. В., Болтовец Н. С. и др. Влияние перегрева $p-n$ -перехода на деградацию мощных импульсных кремниевых лавинно-пролетных диодов // ФТП.— 2011.— Т. 45.— № 2.— С. 256–262.
2. Давыдова Н. С., Данюшевский Ю. З. Диодные генераторы и усилители СВЧ.— Москва: Радио и связь, 1986.
3. Гуцул А. В., Зоренко О. В. Аналіз теплового режиму лавинно-пролітних діодів в генераторах міліметрового діапазону довжин хвиль, що працюють в імпульсному режимі // Вісник Національного технічного університету України «КПІ».— 2008.— № 36.— С. 76–80.
4. Сорокин М. С., Архипов А. В. Анализ теплового режима импульсных генераторов лавинно-пролетных диодов // J. Nano.— Electron. Phys.— 2009.— Т.1, № 4.— С. 24–30.
5. <http://www.ansys.com/>

P. O. Sai

Prospects for the replacement of copper heat sink diamond in impact avalanche transit-time diodes

The authors use the finite element method to calculate the thermal mode of pulse avalanche transit-time diode of 8-millimeter wavelength range with generation power up to 30—35 watts. It is shown that the replacement of copper heat sink with a diamond one with the thickness of 100 microns can achieve reduction in temperature of the $p-n$ junction by 65°C . In turn, this increases the error-free running time of the instrument by more than an order of magnitude.

Keywords: *avalanche transit-time diode, finite element method, silicon, diamond.*