

**Розмірні ефекти у структурах на карбіді кремнію**  
**Размерные эффекты в структурах на карбиде кремния**  
**The size effects in the structures based on silicon carbide**

1. **Номер державної реєстрації теми - 0112U001630, НТУУ «КПІ» - 2503ф.**
2. **Науковий керівник -** к.т.н., Генкін О.М., Генкин А.М., Genkin A. M.

**3. Суть розробки, основні результати.**  
**(укр.)**

В роботі з'ясовані технологічні, експлуатаційні та конструкційні умови, за яких на основі сплавної технології виготовлення *p-n*-переходів, на промислових кристалах карбиду кремнію можливо отримати світлодіоди, що працюють у режимі електричного пробоя, які можливо використовувати у якості еталонів потужності та спектрального складу випромінювання на спектральний діапазон 250–700 нм, а також у якості імпульсних випромінювачів з субнаносекундною швидкодією. Розроблено конструкції цих приладів, лабораторна технологія їх виготовлення, елементи метрологічного забезпечення.

Прилади на основі карбиду кремнію відрізняє:

- широкий спектр, подібний до спектра абсолютно чорного тіла при температурі 6000-8000 К у діапазоні 250-700 нм;
- унікально висока температурна стабільність, що виключає необхідність термостатування (температурний коефіцієнт спектральної густини квантового виходу пробійної електролюмінесценції не перевищує 0,01-0,05 %/К);
- лінійна залежність потужності випромінювання від живлячого струму;
- стійкість до струмових перевантажень (густина електричного струму може досягати  $10^6$  А/см<sup>2</sup>);
- субнаносекундна швидкодія;
- відносно малі розміри та велика яскравість зони випромінювання (до  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>);
- висока стійкість до радіаційного, хімічного, термічного впливу;
- квантовий вихід випромінювання порядку  $10^{-5}$  фотона на електрон;
- слабка деградація.

Завдяки температурній стабільності нагрів *p-n*-структури живлячим струмом практично не впливає на квантовий вихід випромінювання. Це обумовлює миттєву готовність приладу до дії, ефективність імпульсного режиму роботи, дозволяє здійснювати комутацію та зміну потужності випромінювання за допомогою живлячого струму, що є максимально зручним та простим.

**(рос.)**

В работе определены технологические, эксплуатационные и конструкционные условия, при которых на основе сплавной технологии изготовления *p-n*-переходов, на промышленных кристаллах карбида кремния можно получить светодиоды, работающие в режиме электрического пробоя, которые возможно использовать в качестве эталонов мощности и спектрального состава излучения на спектральный диапазон 250 – 700 нм, а также в качестве импульсных излучателей с субнаносекундным быстродействием. Разработаны конструкции этих приборов, лабораторная технология их изготовления, элементы метрологического обеспечения.

Приборы на основе карбида кремния отличает:

- широкий спектр, подобный спектру абсолютно черного тела при температуре 6000-8000 К в диапазоне 250-700 нм;
- уникально высокая температурная стабильность, исключая необходимость термостатирования (температурный коэффициент спектральной плотности квантового выхода пробойной электролюминесценции не превышает 0,01-0,05 %/К);
- линейная зависимость интенсивности излучения от питающего тока;
- стойкость к токовым перегрузкам (плотность тока может достигать  $10^6$  А/см<sup>2</sup>);

- субнаносекундне быстродействие;
- відносно невеликі розміри і висока яскравість зони випромінювання (до  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>);
- висока стійкість до радіаційного, хімічного, термічного впливу;
- квантовий вихід випромінювання порядку  $10^{-5}$  фотона на електрон;
- слабка деградація.

Благодаря температурной стабильности нагрев структуры питающим током практически не влияет на квантовый выход излучения. Это обуславливает мгновенную готовность прибора к действию, эффективность импульсного режима работы, позволяет осуществлять коммутацию и изменение интенсивности излучения с помощью питающего тока, что есть максимально удобным и простым.

**(англ.)**

Conditions for creation of light emitting diodes working in electrical breakdown regime have been determined. The floatable technology have been used. Light emitting diodes obtained is possible to use as standards of power and spectral composition of radiation, and although for creation of sources of short light impulses. Constructions of these devices, laboratorial technology of their fabrication, elements of metrological support have been worked out.

Emitters on SiC-basis operating in the electrical breakdown regime have the following superior characteristics:

a wide spectrum which is similar to the blackbody spectrum at 6000-8000 K in the range of 250 - 700 nm;

- extremely high temperature stability, so there is no need for thermostating (the temperature coefficient of spectral density of the breakdown electroluminescence quantum yield is within the range of 0.01-0.1 % / K );
- linear dependence of the emission power on the feed current, when the current is growing up by a factor of  $10^4$ ;
- resistance to the density of the electric current up to  $10^6$  A/cm<sup>2</sup>;
- subnanosecond quick operating;
- great brightness of the emitting band ( up to  $10^4$  Kd/m<sup>2</sup> );
- ability to function under extreme high-temperature and high-radiation conditions;
- long term chemical stability;
- quantum radiation yield of the order of  $10^{-6}$  photon/electron;
- weak degradation;
- rather small sizes.

Due to high temperature stability heating of p-n-structures by the feed current hardly affects the emission quantum yield. It causes the instantaneous readiness of a device to operate and stipulates its pulse regime efficiency. It also allows to perform commutation and change of emission power by the feed current that seems to be the most convenient and the simplest.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності**

Не має

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Прилади, аналогічні ПС, на Україні не виготовляються. Відомості про закордонні аналоги, опубліковані у відкритому друку, нам не відомі.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Створені на основі ПС, еталони потужності та спектрального складу випромінювання для широкої області спектра у максимальній мірі відповідають вимогам до зразкових випромінювачів, які працюють у парі з ФЕП усіх типів для видимої, ближньої ІЧ та УФ області спектра. Прилади можуть бути використані для контролю параметрів ФЕП в умовах їх серійного виробництва та використання в оптико-електронній апаратурі, для імітації випромінювання зірок. Крім того, на основі ПС

можливо створювати генератори світлових імпульсов нано- та субнаносекундної тривалості для імітації спалахів сцинтиляторів, а також для контролю кінетичних властивостей швидкодіючих фотоприймачів.

Вірогідні галузі для впровадження еталонних та імпульсних ПС:

ядерна фізика та техніка (імітатори сцинтиляції);

космічна техніка (імітація зоряного неба, системи астронавігації);

екологія (калібрування бортових спектрометрів ультрафіолетового випромінювання для досліджень озонового шару, тощо);

метрологія;

приладобудування;

техніка експерименту.

### 8. Стан готовності розробки.

Маємо лабораторну технологію виготовлення р-п-структур на основі промислового карбїду кремнію, яка вміщує засіб штучного внесення дефектів, які являються центрами локалізації мікроплазм, що мають оптимальні властивості. Вихід придатних приладів досягає 20 %, що дозволяє використовувати технологію у промислових масштабах.

Розроблені конструкції лабораторних зразків, які можуть бути пристосовані до потреб замовника.

Розроблено та виготовлено вимірвальний комплекс для визначення параметрів ПС, у якому використано нестандартні методики.

### 9. Існуючі результати впровадження.

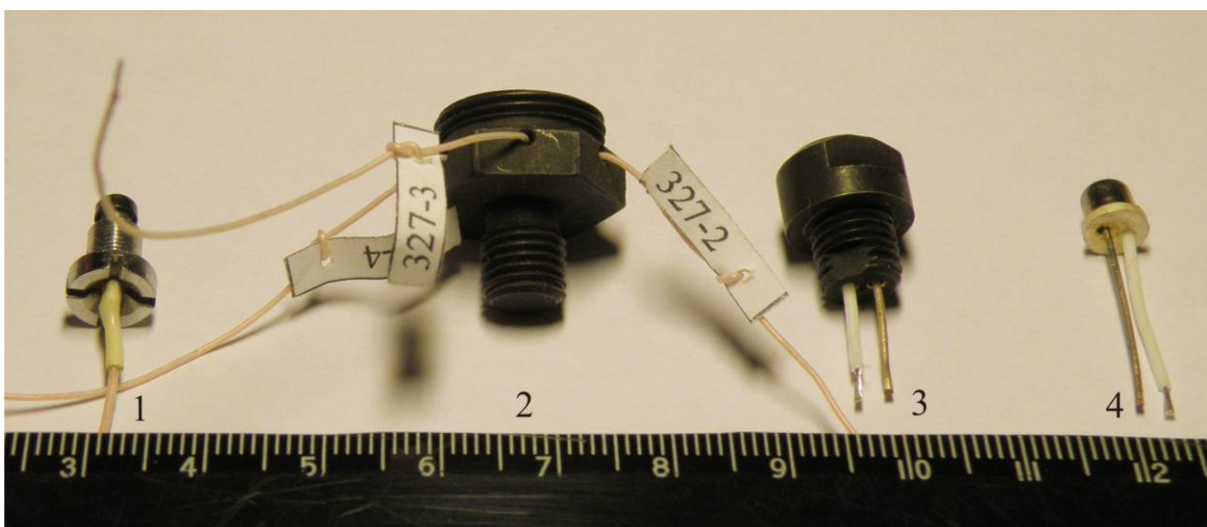
Впровадження лабораторних зразків пробійних світлодіодів здійснювали при СРСР на ведучих підприємствах, що виготовляли фотоелектронні помножувачі, практично на всіх основних інститутах ядерної фізики, багатьох підприємствах ВПК, тощо.

У останні роки лабораторні зразки пробійних світлодіодів застосовані для калібрування бортового УФ поляриметра, призначеного для контролю атмосферних аерозолів у ГАО НАНУ.

### 10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ"КПІ", фізико-математичний факультет, кафедра загальної фізики та фізики твердого тіла, 454-96-27, [fmf@kpi.ua](mailto:fmf@kpi.ua)

Лабораторні зразки пробійних світлодіодів різних конструкцій.



1 – світлодіодний імітатор випромінювання зірок;

2 – еталонний широкосмуговий випромінювач на діапазон 250–700 нм;

- 3 – імпульсний випромінювач з радіатором;
- 4 – імпульсний випромінювач.

Високо стабільні, широкосмугові, швидкодіючі джерела оптичного випромінювання на основі явища електричного пробою у *p-n*-структурах на карбіді кремнію.

#### **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

Генкін О. М., Генкіна В. К., Гермаш Л. П. Поляризаційні характеристики електролюмінесценції, що супроводжує електричний пробій *p-n*-структур на карбіді кремнію // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2014. – В. 1. – С. 71-78.

1 Genkin A. M., Genkina V. K., Zubkova S. M. Radiation polarization of silicon carbide *p-n*-structures, operating in electrical breakdown regime // European Physical Journal Appl. Phys. – 2014. – У друку.