



*Кокодій М.Г.*

**Кокодій М.Г.** доктор фіз.-мат. наук,  
професор<sup>1,2</sup>

**Разіньков В.В.** канд. фіз.-мат. наук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4,  
Харків, 61022, Україна,  
e-mail: kokodiyng@gmail.com;

<sup>2</sup>Національний фармацевтичний університет,  
вул. Пушкінська, 53, 61002, Харків, Україна;

<sup>3</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1,  
Чернівці, 58029, Україна, e-mail: anatyach@gmail.com



*Разіньков В.В.*

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ МАТРИЧНИЙ ПРИЙМАЧ ОПТИЧНОГО Й ТЕРАГЕРЦЕВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*Матричний приймач електромагнітного випромінювання призначений для роботи в ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному й терагерцовому діапазонах спектра. Розміри вхідного вікна приймача – 20×20 мм. Кількість елементів матриці – 36. Чутливість приймача – 8 В/Вт в оптичному діапазоні й 2-Бібл. 5, рис. 13, табл. 2.*

**Ключові слова:** лазер, випромінювання, приймач, термоелектричний, матриця.

### Вступ

Зараз відбувається активне освоєння середньої й далекої областей інфрачервоного діапазону (5 – 100 мкм) і пов'язаною з нею області терагерцового (субміліметрового) діапазону (100 – 1000 мкм). Інтерес до них відновився після тривалої перерви. Це пов'язано зі специфічними можливостями, які можна реалізувати в цих діапазонах спектра:

1. Створення дуже вузьких пучків випромінювання для радіозв'язку й радіолокації (із шириною діаграми спрямованості в частки мільярдів). У радіолокації це забезпечує просторову роздільну здатність до декількох сантиметрів, у радіозв'язку – можливість передачі інформації без небезпеки її витоку.
2. Набагато більша, ніж у сантиметровому й міліметровому діапазонах інформаційна ємність каналів зв'язку.
3. Використання в системах безпеки для виявлення пластикових вибухових речовин і зброї.
4. Для виявлення в космосі об'єктів з температурою в десятки кельвін, що випромінюють у терагерцовому діапазоні, наприклад, астероїдів.
5. Для діагностики високотемпературної плазми в установках керованого термоядерного синтезу.

Дуже важливою характеристикою пучків випромінювання є їхній профіль (розподіл інтенсивності в поперечному перерізі). Знаючи його, можна визначити інші параметри пучка – енергію імпульсу, потужність випромінювання, діаметр пучка, положення його енергетичного центру, фактор  $M^2$ .

Проблему вимірювання профілю пучка випромінювання повністю вирішено для видимої, близької інфрачервоної й середньої інфрачервоної областей спектра (0.4-10 мкм). У фірмах

COHERENT (США), OPHIR (США – Німеччина – Японія – Ізраїль), PRIMES і PROMETEC (Німеччина) розроблено прилади, що використовують фотоелектричні матриці, матриці на теплових приймачах (термопари, піроелектричні приймачі) і скануючі приймачі.

Фотоелектричні матриці призначені для роботи з вузькими пучками випромінювання (від 5 до 30 мм) і малими потужностями (до 1 Вт) у спектральному діапазоні від 0.2 до 1 мкм. Матриці на теплових приймачах призначені для роботи з пучками випромінювання від 20 до 100 мм при потужності випромінювання від 1 мВт до 10 кВт у спектральному діапазоні від 0.2 мкм до 10 мкм. Скануючі прилади призначені для роботи у фокальній області пучка, а також у пучках діаметром до 50 мм у спектральному діапазоні від 0.2 до 1 мкм.

Вимір характеристик випромінювання лазерів у терагерцевому діапазоні є ще не вирішеною проблемою лазерної метрології. Відомі прилади для роботи в цьому діапазоні, розроблені фірмою OPHIR – **Pyrocam III HR** і **Pyrocam IV** (рис. 1) [1]. Вартість приладів більша – близько \$30000. Характеристики приладів показано в табл. 1.



Рис. 1. Прилади Pyrocam III HR і Pyrocam IV

Таблиця 1

Характеристики приладів Pyrocam III HR і Pyrocam IV

Прилад	Pyrocam III HR	Pyrocam IV
Спектральний діапазон	13-355 нм	13-355 нм
	1.06-3500 мкм	1.06-3500 мкм
Вхідне вікно	12.8 × 12.8 мм	25.6 × 25.6 мм
Кількість елементів	160 × 160	320 × 320

В Інституті термоелектрики НАН України було розроблено матричні термоелектричні приймачі для видимого й близького інфрачервоного діапазонів спектру [2] (рис. 2).

Матриця із вхідним вікном 16 × 16 мм містить 256 елементів - напівпровідникових термопар розмірами 1 × 1 мм. Спектральний діапазон приймача – від 0.4 мкм до 10 мкм, чутливість – 100 мВ/Дж. Приймач розрахований на вимір енергії імпульсу випромінювання. Потужність безперервного випромінювання таким приймачем вимірювати важко. Причина цього наступна.



Рис. 3. Матричний приймач енергії випромінювання Інституту термоелектрики НАН України

Матриця із вхідним вікном 16 × 16 мм містить 256 елементів - напівпровідникових термопар розмірами 1 × 1 мм. Спектральний діапазон приймача – від 0.4 мкм до 10 мкм, чутливість

– 100 мВ/Дж. Приймач розрахований на вимір енергії імпульсу випромінювання. Потужність безперервного випромінювання таким приймачем вимірювати важко. Причина цього наступна.

З теорії теплових вимірювальних приладів відомо, що їхня чутливість по потужності  $S_p$  і чутливість по енергії  $S_E$  зв'язані наступним співвідношенням:

$$S_p = S_E \tau,$$

де  $\tau$  – теплова постійна часу. Час установлення показань приймача рівно  $4\tau$ . При чутливості по енергії  $S_E = 100$  мВ/Дж і тепловий постійної часу  $\tau = 0.75$  із чутливість по потужності виходить рівної  $S_p = 75$  мВ/Вт. Якщо вважати, що рівень сигналу із приймача повинен бути не менше 1 мВ, то мінімальна вимірювана потужність рівна близько 15 мВт, у той час як багато лазерні та світлодіодні джерела мають значно меншу потужність випромінювання - кілька міліватів.

### МАТРИЧНИЙ ПРИЙМАЧ ДЛЯ ВИМІРУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Для вимірів безперервної потужності лазерного випромінювання в Інституті термоелектрики НАН України був розроблений вимірювальний перетворювач, у яком елементами матриці слугують напівпровідникові термоелектричні приймачі випромінювання із чутливістю по потужності в оптичному діапазоні близько 8 В/Вт. Загальний вид приймача показаний на рис. 4.



Рис. 3. Матричний термоелектричний приймач безперервного випромінювання

Розмір вхідного вікна приймача  $20 \times 20$  мм. Кількість елементів матриці – 36. Схема приймального елемента показана на рис. 4. Приймальний майданчик елемента (1) – пластинка з фериту  $Fe_2(V_{1-x}Ti_x)A_1$  розмірами  $3 \times 3$  мм і товщиною 0.3 мм. До тильної сторони феритової пластинки через шар теплопровідного клею (2) товщиною 15-20 мкм і шар припою ПОС-61 (3) товщиною 50 мкм приєднують «гарячі» спаї батареї напівпровідникових термопар (4) на основі  $BiTe$ , отриманих методом екструзії. Довжина термоелектричного елемента 14.2 мм, розмір торця  $p-n$  пари  $0.38 \times 0.19$  мм. «Холодні спаї» батареї через шар припою (5) і шар теплопровідного клею (6) приєднують до пластинки з кераміки (7) товщиною 0.63 мм, яка лежить на мідній основі (9). Тепловий контакт між пластинкою та основою забезпечується шаром припою (8) товщиною 50 мкм.

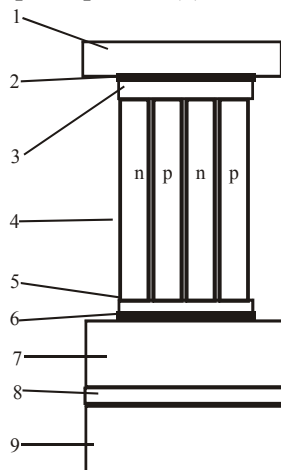


Рис. 4. Схема елемента матричного приймача

На рис. 5а показана нумерація елементів матриці (вид на матрицю спереду, по ходу променя лазера). У використуваному при проведенні експериментів аналого-цифровому перетворювачі Е14-140 є 32 канали. Тому сигнали з кутових елементів матриці не вимірялися (рис. 5б). Їхні значення визначалися за допомогою інтерполяції.

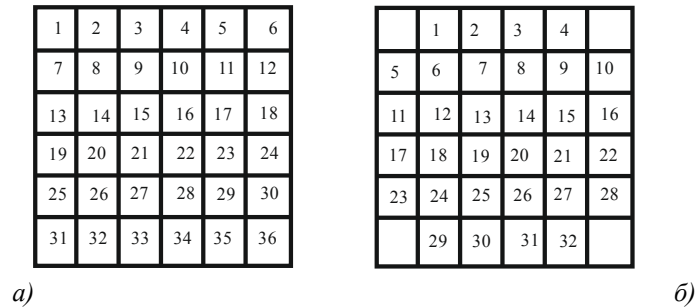


Рис. 5. Матриця приймача випромінювання  
а – елементи матриці, б – номери каналів АЦП

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЙМАЧА

### Нерівномірність чутливості термопар

На кожний з елементів матриці наводився промінь лазера діаметром близько 1 мм, і вимірявся електричний сигнал, генерований термопарами цього елемента. Потужність випромінювання лазера контролювалася. Результати вимірів показані на рис. 6. По осі абсцис відкладені номери термопар, по осі ординат – чутливість кожної з батарей термопар по потужності  $S_p$ .

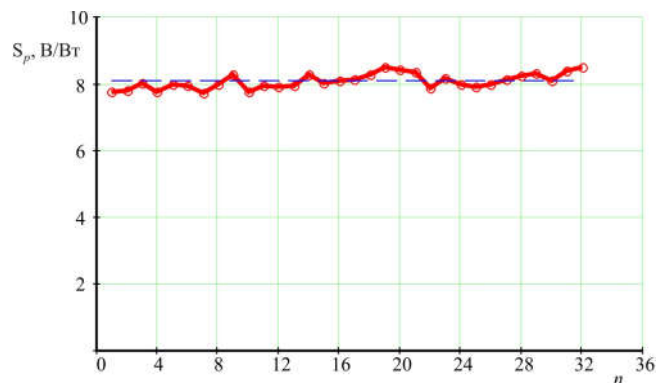


Рис. 6. Чутливості термопар приймача

Розкид величини чутливості – приблизно 5% від середнього значення:

$$S_{pcp} = 8.07 \pm 0.01 \text{ В / Вт.}$$

При обробці результатів вимірів урахувалася чутливість кожної термопари.

### Динамічний діапазон приймача

#### Нижня межа вимірювання

Нижня межа вимірювання визначається дрейфом нуля при прогріві приймача, зсувом нуля при випадкових змінах температури навколишнього середовища, наведеннями від мережі живлення й інших сторонніх джерел, внутрішніми шумами аналого-цифрового перетворювача.

Типовий вигляд сигналу із приймача випромінювання потужністю поблизу нижньої межі вимірювання показано на рис. 7. Протягом 60 с записувався «нуль» сигналу. Протягом наступних

60 с на приймач подавалося випромінювання, а потім випромінювання перекривалося, і приймач остигав.

Ширина шумової доріжки з урахуванням рідких викидів вгору й униз становить близько 2 мВ, що при чутливості приймача 8 В/Вт відповідає потужності 0.25 мВт. Для впевненого вимірювання необхідно, щоб сигнал перевищував шум, як мінімум, в 10 разів. На мал. 6 представлена приблизно така ситуація:

1. Шум:  $U_0 = -0.77 \pm 0.07$  мВ.
2. Випромінювання:  $U_1 = 9.14 \pm 0.09$  мВ.
3. Сигнал:  $U = U_1 - U_0 = 9.9 \pm 0.1$  мВ.
4. Відносна похибка вимірювання сигналу:  $\Delta Y = 1.4$  %.

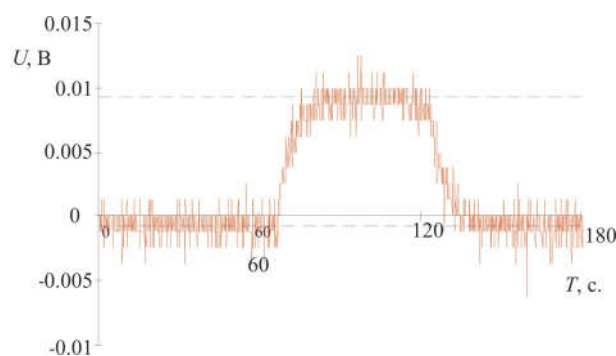


Рис. 7. Сигнал з елемента матричного приймача

Приблизно такою ж буде й відносна похибка виміру потужності випромінювання, що потрапив на даний елемент матриці, тобто:

$$P = 79 \pm 1 \text{ мВт.}$$

Невелика похибка результатів вимірювання за великого рівня шуму пояснюється усередненням по великому числу даних ( від 400 до 600) при обчисленні значень  $U_0$  та  $U_1$ .

Таким чином, нижня межа вимірювання матричним приймачем за шуму, який відповідає потужності випромінювання 0.25 мВт, дорівнює приблизно 10 мВт.

### Верхня межа вимірювання

Верхня межа вимірювання визначається порогом руйнування феритової пластинки, що служить приймальним елементом випромінювання, і температурою плавлення припою у з'єднаннях «гарячих» спаїв термопар.

Для його оцінки було вирішено теплову задачу, що описує нагрівання елемента матриці [3]. Геометрію задачі показано на рис. 4. Шари теплопровідного клею, припою й кераміки дуже тонкі. Тому їх наявність можна не враховувати, і елемент матриці вважати двошаровим, тобто таким, що складається з феритової пластинки та напівпровідникових термопар.

Випромінювання лазера інтенсивністю  $I$  падає на феритову пластинку. До неї прилягають «гарячі» спаї батареї термопар. «Холодні» спаї перебувають на керамічній пластинці й підтримуються при постійній температурі.

Рівняння теплопровідності при температурі, яка встановилася, має такий вигляд:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} = 0, \tag{1}$$

де  $T$  – температура в точці з координатою  $x$ .

Початкова температура:

$$T_{1нач} = T_{2нач} = 0. \quad (2)$$

Тут  $T_1$  і  $T_2$  – температура фериту та термопарі відповідно.

Гранична умова на поверхні приймального елемента з координатою  $x = 0$  описує ситуацію, коли випромінювання поглинається в нескінченно тонкому поверхневому шарі. Відбувається кондуктивний відвід тепла усередину тіла (коефіцієнт теплопровідності  $k_1$ ) та конвективний відвід тепла в зовнішнє середовище (коефіцієнт теплообміну  $\alpha$ ):

$$k_1 \frac{dT_1(0)}{dx} = -I + \alpha T_1(0). \quad (3)$$

У місці з'єднання термопар з тепловідводом ( $x = L$ ) підтримується початкова температура

$$T_2(L) = 0. \quad (4)$$

У місці контакту фериту й термопарі ( $x = l$ ) гранична умова описує неперервність температури й потоку тепла:

$$T_1(l) = T_2(l), \quad (5)$$

$$k_1 \frac{dT_1(l)}{dx} = k_2 \frac{dT_2(l)}{dx}. \quad (6)$$

Тут  $T_1$  і  $k_1$  - температура у феритовій пластинці і її теплопровідність,  $T_2$  і  $k_2$  - температура в термопарі і її теплопровідність.

Розв'язок рівняння (1) з граничними умовами (3) – (6) виглядає так:

$$T(x) = \begin{cases} T_1(x) & \text{при } 0 \leq x \leq l \\ T_2(x) & \text{при } l < x \leq L \end{cases}, \quad (7)$$

де

$$T_1(x) = I \frac{k_1(L-l) + k_2(l-x)}{k_1 k_2 + \alpha [k_1(L-l) + k_2 l]}, \quad T_2(x) = I \frac{k_1(L-x)}{k_1 k_2 + \alpha [k_1(L-l) + k_2 l]}. \quad (8)$$

На рис. 8 показано графік розподілу температури уздовж вісі  $x$  за наступних значень параметрів:

$$I = 5 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2, l = 0.3 \text{ мм}, L = 14.5 \text{ мм}, \\ k_1 = 4.2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, k_2 = 1.38 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, a = 20 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

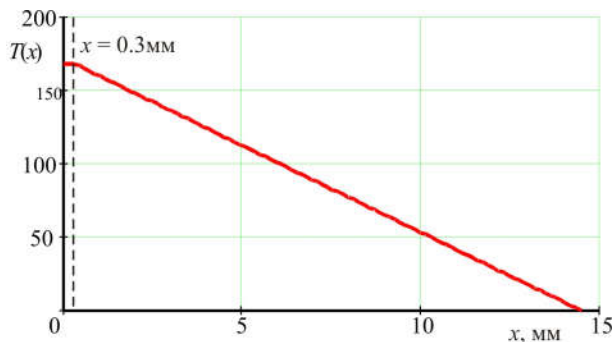


Рис. 8. Розподіл температури в елементі матриці

Значення інтенсивності випромінювання обране таким, щоб у місці контакту термопар з феритовою пластинкою температура нагрівання була рівна  $160^\circ \text{C}$ , що при за температури зовнішнього середовища  $20^\circ \text{C}$  створює в цьому місці температуру плавлення припою ПОС-61, рівну  $180^\circ \text{C}$ .

Інтенсивність випромінювання при цьому повинна бути рівною  $2 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>. Вона отримується за потужності випромінювання, яке потрапляє на приймач, рівної 8 Вт. При цьому температура поверхні феритової пластинки – близько 200° С.

Для безпечної роботи приймача необхідно, щоб температура його поверхні не перевищувала 100° С. Це буде при потужності випромінювання близько 4 Вт.

### Амплітудна характеристика

Джерелом випромінювання слугувала проекційна лампа розжарювання з потужністю випромінювання до 5 Вт. Залежність величини сигналу із приймача від потужності випромінювання показано на рис. 9. По осі ординат відкладено суму значень сигналів із усіх елементів матриці. У цьому діапазоні потужностей амплітудна характеристика приймача лінійна.

Чутливість приймача по потужності у видимому діапазоні –  $6.2 \pm 0.5$  В/Вт.

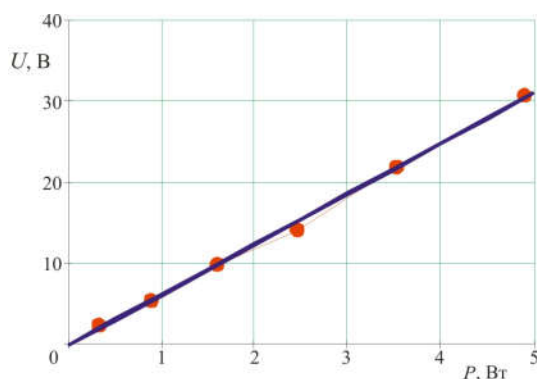


Рис. 9. Амплітудна характеристика матричного приймача

### Постійна часу

На приймач подавалося випромінювання проекційної лампи розжарювання. Потужність випромінювання – 0.75 Вт. Світлова пляма - горизонтальний еліпс із великою віссю 16 мм, малою віссю 10 мм.

Знімалася залежність сигналу з термопар  $U$  від часу. На рис. 10 точками показано результати вимірів. Суцільна лінія – апроксимація цієї залежності функцією

$$U(t) = U_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right).$$

Обробка за методом найменших квадратів дає:  $\tau = 4.3$  с. Час установлення показань  $t_{уст}$  рівно  $4\tau = 17.2$  с.

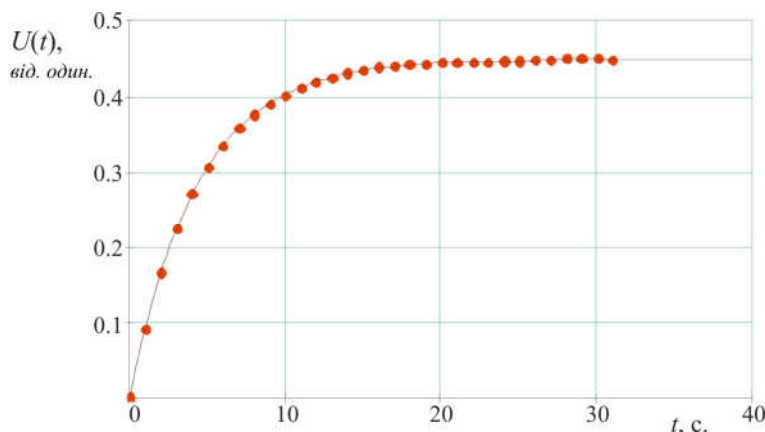


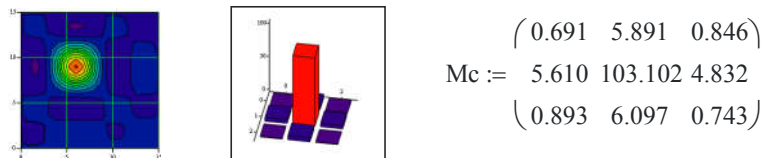
Рис. 10. Установлення в часі сигналу з термопар



### Тепловий зв'язок між елементами матриці

При вимірюванні безперервної потужності в приймачі через час  $t_{уст}$  встановлюється стаціонарний тепловий режим. При цьому тепло від більш нагрітих елементів матриці може переходити до менш нагрітих, у результаті чого спотворюється розподіл температури по поверхні приймача, а, отже, спотворюється профіль пучка випромінювання.

Для перевірки теплового зв'язку між елементами матриці на один з них спрямовувався вузький пучок випромінювання від лазера-вказівника. На мал. 11 показано результати вимірів. Діаметр променя приблизно дорівнює розміру елемента –  $3 \times 3$  мм. На стовпчастій діаграмі видно, що сильно нагріто один елемент. Він показаний червоним кольором. Нагрівання сусідніх елементів на діаграмі майже не помітне. Матриця  $M_c$  показує розподіл температури (у відносних одиницях) на нагрітому й сусідніх з ним елементах. Видно, що температура сусідніх елементів не перевищує 6% від температури елемента, що нагрівається. Таким чином, тепловий зв'язок між елементами слабкий, і похибка, обумовлена цим чинником, невелика. Вона не більша за похибку, викликану неоднаковими термопарами.



Потужність випромінювання  $P = 9$  мВт  
 $X_c = 6.16$  мм,  $Y_c = 8.66$  мм,  $D_x = 2.19$  мм,  $D_y = 4.02$  мм, ...  $D = 2.97$  мм

Рис. 11. Тепловий зв'язок між елементами матриці

### Спектральна характеристика

Для вимірювання спектральної характеристики приймача були використано кольорові світлодіоди, що перекривають видимий діапазон спектру (синій, зелений, жовтий і червоний), білий світлодіод, червоний і зелений напівпровідникові лазери, дві лампи розжарювання, інфрачервоний лазер та два терагерцевих лазери. Результати вимірів показано в табл. 2.

Таблиця 2

Спектральна характеристика приймача

Джерело світла	Довжина хвилі, мкм	Чутливість, В/Вт
Синій світлодіод	0.460	6.8
Зелений світлодіод	0.505	7.0
Жовтий світлодіод	0.590	6.5
Червоний світлодіод	0.635	4.4
Білий світлодіод	0.4 - 0.7	7.6
Лампа 1	0.4 - 0.7	6.4
Лампа 2	0.4 - 0.7	6.2
Зелений лазер	0.532	8.0
Червоний лазер	0.650	6.4



Продовження таблиці №2

ИК лазер	10.6	7.0
ТГц лазер 1	119	4.9
ТГц лазер 2	432	2.0

Цю ж характеристику показано на рис. 11.

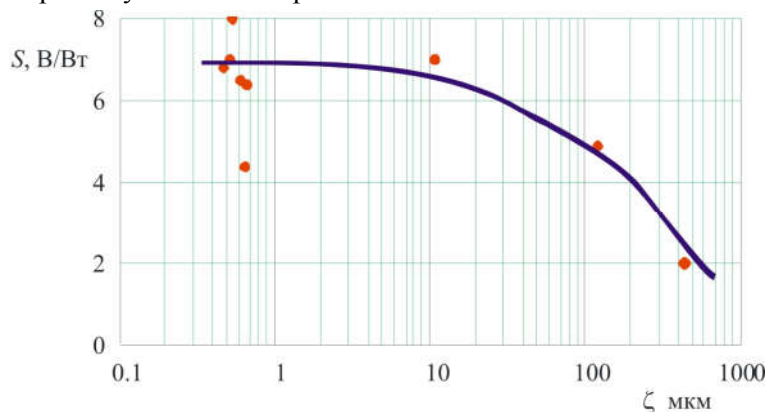


Рис. 11. Спектральна характеристика приймача

У видимому діапазоні й інфрачервоному діапазоні аж до 10 мкм чутливість майже постійна. Розкид експериментальних точок пояснюється похибками вимірів потужності випромінювання. У терагерцевому діапазоні чутливість значно нижче. Це пов'язано зі зменшенням поглинальної здатності фериту на довжинах хвиль, близьких до мікрохвильового діапазону.

### Вимірювання енергії імпульсу випромінювання

Джерелом імпульсного випромінювання служила лампа-спалах з енергією (накопиченою в конденсаторі) 30 Дж. Тривалість імпульсу – близько 1 мс. На рис. 12 показано вигляд сигналу із приймача за дії на нього імпульсу випромінювання.

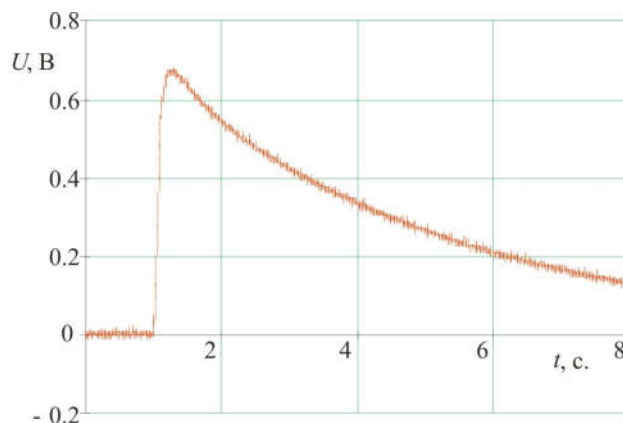


Рис. 12. Відгук приймача на оптичний імпульс

За чутливості приймача по потужності  $S_p = 8 \text{ В/Вт}$  та теплової постійної часу  $\tau = 4.3 \text{ с}$  чутливість за енергією дорівнює:

$$S_E = \frac{S_p}{\tau} = 1.86 \text{ В/Дж.}$$

Амплітуда сигналу із приймача дорівнює 0.7 В. Це відповідає енергії випромінювання близько 1.3 Дж.

Чутливість дослідженого приймача по енергії істотно більша, ніж у матричного приймача [2]. Тому він може з успіхом застосовуватися й для вимірювання енергії імпульсу випромінювання. Поступається він лише за інерційністю – стала часу рівна 4.3, а не 0.75 с, як у приймача [2].

### ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ЛАЗЕРА

На рис. 13 показано результати вимірювання профілю пучка випромінювання газового лазера, який працює на парах метанолу у терагерцевому діапазоні. Довжина хвилі випромінювання – 118.9 мкм, потужність випромінювання 10 мВт. Лазер працював у режимі генерації моди TEM<sub>00</sub>.

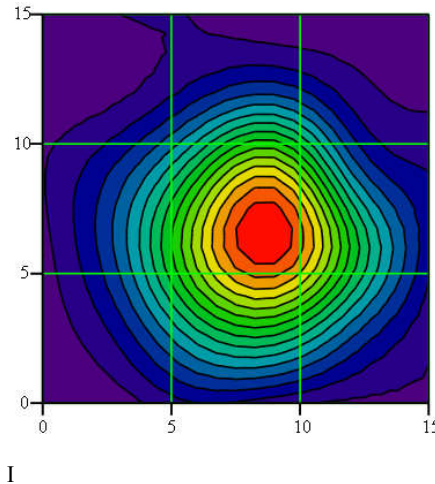


Рис. 13. Профіль пучка випромінювання терагерцевого лазера

Параметри пучка випромінювання, обчислені відповідно до методики, викладеної в стандарті ISO/DIS 11146 [5], наводяться нижче.

Координати енергетичного центру пучка визначаються співвідношеннями:

$$x_c = \frac{\int x I(x, y) dS}{\int_s I(x, y) dS}, \quad y_c = \frac{\int y I(x, y) dS}{\int_s I(x, y) dS}. \quad (9)$$

Тут  $I(x, y)$  – функція розподілу інтенсивності в поперечному перерізі пучка. Інтегрування виконується за площею його поперечного перерізу.

Обчислення по цих формулах дають:

$$x_c = -7.9 \text{ мм}, \quad y_c = 6.8 \text{ мм}.$$

Діаметри пучка уздовж осей  $O_x$  і  $O_y$  визначаються так:

$$D_x = 4 \sqrt{\frac{\int (x - x_c)^2 I(x, y) dS}{\int_s I(x, y) dS}}, \quad D_y = 4 \sqrt{\frac{\int (y - y_c)^2 I(x, y) dS}{\int_s I(x, y) dS}}. \quad (10)$$

Використовується також середнє геометричне значення діаметра:

$$D = \sqrt{D_x D_y} \quad (11)$$

Обчислення дають наступні значення цих величин:

$$D_x = 14.1 \text{ мм}, \quad D_y = 14.0 \text{ мм}, \quad D = 14.0 \text{ мм}.$$

## Висновок

Уперше в Україні розроблений матричний приймач лазерного випромінювання, що перебиває видимий, інфрачервоний та терагерцевий діапазон з наступними характеристиками:

- спектральний діапазон – 0.4...500 мкм;
- кількість приймальних елементів матриці – 36;
- розмір приймального елемента – 3 × 3 мм;
- чутливість приймача по неперервній потужності – 8.07 В/Вт;
- чутливість приймача за енергією – 1.86 В/Дж;
- час установлення показів – 17 с.

## Література

1. Pyrocam III HR, Pyrocam IV // [www.ophiropt.ru](http://www.ophiropt.ru)
2. Multielement laser radiation detector // [www.it.inst.cv.ua](http://www.it.inst.cv.ua)
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Вища школа, 1966. - 600 с.
4. Гончарський А.А., Нестеров А.В., Низьев В.Г., Новикова Л.В., Якунін В.П. Оптичні елементи лазерного резонатора для генерації променя з осесимметричної поляризацією // Оптика й спектроскопія. - 2000. - Т. 89, № 1. - С. 160-164.
5. Draft International Standard ISO/DIS 11146. Optics and optical instruments – Laser and laser-related equipment - Test methods for laser beam parameters: beam widths, divergence angle and beam propagation factor. - 1995.

Надійшла до редакції 20.04.2018

**Кокодій Н.Г.** доктор физ.-мат. наук, професор<sup>1,2</sup>,  
**Разиньков В.В.** канд. физ.-мат. наук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,  
пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина

<sup>2</sup>Национальный фармацевтический университет, ул. Пушкинская,  
53, 61002, Харьков, Украина, e-mail: kokodiyng@gmail.com;

<sup>3</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,  
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина; e-mail: anatysh@gmail.com.

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МАТРИЧНЫЙ ПРИЕМНИК ОПТИЧЕСКОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Матричный приемник электромагнитного излучения предназначен для работы в ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и терагерцевом диапазонах спектра. Размеры входного окна приемника – 20 x 20 мм. Количество элементов матрицы – 36. Чувствительность приемника – 8 В/Вт в оптическом диапазоне и 2-4 В/Вт в терагерцевом диапазоне. Максимальная интенсивность излучения – 4 Вт. Библ. 5, рис. 13, табл. 2.

**Ключевые слова:** лазер, излучение, приемник, термоэлектрический, матрица.

**Kokodiy N.G.** *Doctor phys.-mat. sciences, professor*<sup>1,2</sup>,  
**Razinkov V.V** *Cand. phys.-mat. sciences*<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>V.N.Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

<sup>2</sup>National Pharmaceutical University, 53 Pushkinskaya str.,  
Kharkiv, 61002, Ukraine, *e-mail: kokodiyng@gmail.com*;

<sup>3</sup>Institute of Thermoelectricity, NAS of Ukraine, 1 Nauky av.,  
Chernivtsi, 58029, Ukraine, *e-mail: anatykh@gmail.com*.

## **THERMOELECTRIC MATRIX RECEIVER OF OPTICAL AND TERAHERTZ RADIATION**

*Matrix receiver of electromagnetic radiation is designed to work in the ultraviolet, visible, infrared and terahertz spectral ranges. The size of the receiver input window is 20 x 20 mm. The number of matrix elements is 36. The sensitivity of the receiver is 8 V/W in the optical range and 2-4 V/W in the terahertz range. The maximum intensity of radiation is 4 W. Bibl. 5, Fig. 13, table 2.*

**Key words:** laser, radiation, receiver, thermoelectric, matrix.

### **References**

1. Pyrocam III HR, Pyrocam IV // [www. ophiropt.ru](http://www.ophiropt.ru)
2. Multielement laser radiation detector // [www.it.inst.cv.ua](http://www.it.inst.cv.ua)
3. Lykov A.V. (1966). *Teoriia teploprovodnosti [Theory of thermal conductivity]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
4. Goncharkii A.A., Nesterov A.V., Niziev V.G., Novikova L.V., Yakunin V.P. (2000). Opticheskiye elementy lasernogo resonatora dlia generatsii lucha s osesimmetrichnoi poliarizatsiei [Optical elements of laser resonator for generation of a beam with axisymmetric polarization]. *Optika i spektroskopiia – Optics and Spectroscopy*, 89(1), 160-164 [in Russian].
5. *Draft International Standard ISO/DIS 11146*. Optics and optical instruments – Laser and laser-related equipment - Test methods for laser beam parameters: beam widths, divergence angle and beam propagation factor. – 1995.

Submitted 20.04.2018