

УДК 621.283.4/5

PACS: 85.60.Gz, 44.40 +a, 07.57.Kp, 42.88. +h

Метод измерения абсолютной спектральной характеристики ИК МФПУ

А. И. Патрашин, В. С. Ковшов, А. В. Никонов, И. Д. Бурлаков

Рассмотрены физические и технические аспекты реализации альтернативного метода измерения абсолютной спектральной характеристики ИК МФПУ (спектр токовой чувствительности, вольтовой чувствительности и квантовой эффективности) без участия спектральных приборов. Метод основан на многократном измерении выходного сигнала всех ФЧЭ, генерированного модулированным излучением черного тела (МЧТ) при разных его температурах. Сигнал измеряется на фоне суммы постоянных сигналов, обусловленных излучением фона, входного оптического окна, модулятора излучения МЧТ, темновым током ФЧЭ и постоянным сигналом БИС-мультиплексора. На измеренных сигналах ФЧЭ строится система интегральных уравнений Фредгольма первого рода. В ее левой части стоят измеренные сигналы МЧТ, а в правой части системы стоят аналитические выражения, описывающие данные сигналы. Решением системы являются абсолютные значения вышеуказанных спектральных компонент всех ФЧЭ МФПУ. Рассмотрена блок-схема установки измерения, проанализированы функциональные особенности ее работы и обоснованы требования к ее блокам. Показаны дополнительные преимущества нового метода по сравнению с существующими методами.

Ключевые слова: полезная и паразитная облученность, модуляция излучения МЧТ, выходной сигнал ИК МФПУ, спектры токовой и вольтовой чувствительности, спектр квантовой эффективности, гистограмма красной границы ФЧЭ, распределение красной границы ФЧЭ по площади МФЧЭ.

Ссылка: Патрашин А. И., Ковшов В. С., Никонов А. В., Бурлаков И. Д. // Успехи прикладной физики. 2019. Т. 7. № 1. С. 49.

Reference: A. I. Patrashin, V. S. Kovshov, A. V. Nikonov, and I. D. Burlakov, Usp. Prikl. Fiz. 7 (1), 49 (2019).

Введение

Наша предыдущая статья [1] была посвящена математическому аппарату, необходимому для реализации нового метода измерения спектральной чувствительности матричного фотоприемного устройства (МФПУ) с помощью несектральных

приборов, а именно, макета черного тела (МЧТ) с модулятором и электронного блока управления и регистрации сигналов МФПУ. В ней было показано, как можно корректно решить «некорректную» систему интегральных уравнений, составленную по результатам измерений интегральных сигналов МФПУ на стенде измерения параметров устройства.

В настоящей статье мы проведем анализ мероприятий, необходимых для экспериментального подтверждения указанного метода. Для этого рассмотрим необходимый для этих измерений стенд и все технические требования к его блокам.

Стенд измерений

Блок-схема стенда, необходимого для полной реализации метода измерения спектральной чувствительности, изображена на рис. 1. Стенд должен включать следующий минимальный набор узлов:

- 1 МЧТ;
- 2 Модулятор излучения МЧТ;
- 3 Измеряемое МФПУ;

Патрашин Александр Иванович¹, в.н.с., к.ф.-м.н.
Ковшов Владимир Сергеевич^{1,2}, инженер, студент.
Никонов Антон Викторович^{1,2}, нач. НИЦ, доцент, к.ф.-м.н.
Бурлаков Игорь Дмитриевич^{1,3}, зам. ген. директора

по инновациям и науке, зав. кафедрой, д.т.н., профессор.

¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

E-mail: knyz_vladimir8@mail.ru

² Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет).

Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,

Институтский пер., 9.

³ МИРЭА – Российский технологический университет

(РТУ МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 20 декабря 2018 г.

© Патрашин А. И., Ковшов В. С., Никонов А. В., Бурлаков И. Д., 2019

4 Блок питания, управления МФПУ и формирования выходных сигналов;

5 Компьютерный блок управления измерениями, регистрации сигналов МФПУ, задания и регистрации температур МЧТ и модулятора;

6 Блок установки, считывания и передачи значений температуры МЧТ в блок управления.

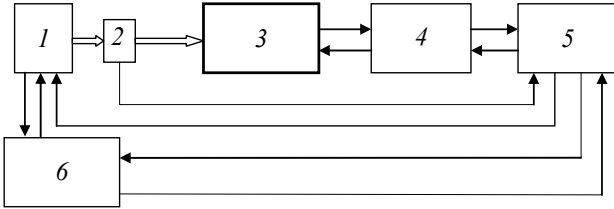


Рис. 1. Блок-схема стенда, необходимого для реализации метода измерения спектральной чувствительности.

Рассмотрим подробнее функциональные характеристики каждого из блоков стенда измерения.

МЧТ, его блок управления и модулятор

Для реализации настоящего метода необходимо максимально точно измерять сигналы МФПУ 3. Сигналы генерируются излучением МЧТ 1. Температура МЧТ должна лежать в диапазоне от 400 К до 1000 К, а его излучение необходимо модулировать с частотой в диапазоне от 100 Гц до 600 Гц, чтобы его сигнал можно было надежно выделить из интегрального выходного сигнала МФПУ. Измерять полезный сигнал МФПУ придется на фоне таких постоянных входных воздействий на МФЧЭ и БИС-мультиплексор, как фоновое излучение с температурой окружающей среды, излучение от модулятора, излучение от входного окна МФПУ, темновой ток ФЧЭ, а также постоянное выходное напряжение БИС-мультиплексора при нулевом времени накопления или при его нулевых входных сигналах. Интегральный выходной сигнал МФПУ складывается из выходных сигналов, обусловленных указанными воздействиями.

Поскольку излучение МЧТ будет модулироваться стандартным электромеханическим модулятором, то МЧТ должен иметь небольшую площадь выходного отверстия с диаметром диафрагмы в диапазоне 0,2–8,0 мм, чтобы степень модуляции была стопроцентной. Стопроцентной модуляцией мы будем называть полное перекрытие светового пучка, попадающего на МФЧЭ, когда перед ним находится лопасть модулятора, и свободное его распространение, когда диафрагма МЧТ расположена между лопастями. В этом случае диаметр диафрагмы МЧТ должен удовлетворять следующему неравенству:

$$d \leq \min(a, b) \quad (1)$$

где d – характерный размер диафрагмы МЧТ (диаметр, сторона), см; a, b – ширина лопасти и ширина промежутка между лопастями соответственно, см.

Конструкция диафрагмы МЧТ должна быть такой, чтобы диаметр диафрагмы МЧТ можно было бы подстроить под величину, определяемую заданным уровнем выходного сигнала МФПУ и задаваемую управляющим сигналом от блока 5.

Модулятор должен иметь встроенный бесконтактный датчик температуры с цифровым выходом, работающий в диапазоне 20–100 °С. Цифровой сигнал датчика должен подаваться на компьютерный блок управления и регистрации 5 для точного расчета паразитной облученности от него.

Блок управления температурой 6 должен выводить МЧТ на температуру, заданную блоком 5, и поддерживать ее постоянной с заданной точностью до момента получения команды перехода к следующей температуре, причём с указанием ее значения. Для этого он должен включать полноценный блок регулировки температуры по заданной величине, по интегралу и по производной. Блок должен принимать показания температуры от датчика (датчиков), установленного в МЧТ, оцифровывать их и передавать данные в блок 5.

Блок управления МФПУ и формирования выходных сигналов

Основные функции блока 4 должны состоять в том, что, во-первых, он должен вырабатывать постоянное и импульсное питание МФПУ (тактовые импульсы). К ним относятся напряжения питания накопительных ячеек, выходных каскадов мультиплексоров, сумматоров (в МФПУ с ВЗН), напряжения перезарядки емкостей накопления и т. д. Во-вторых, он должен вырабатывать такие импульсы управления МФПУ, как импульсы начала кадра, управления накоплением сигнала, перезарядки емкостей накопления, начала считывания сигналов ФЧЭ, суммирования сигналов (в МФПУ с ВЗН) и т. д. Все это может выполняться в соответствии с компьютерной программой, заложенной в компьютерный блок 5 или в соответствии с жесткой схемой блока 4. В-третьих, блок 4 должен принимать выходные сигналы МФПУ (аналоговые или цифровые), оцифровывать сигналы, если они аналоговые, усиливать их до заданной величины и передавать их в следующий блок 5 для обработки. В-четвертых, он должен осуществлять синхронизацию выходных сигналов с тактовым питанием и т. д.

Компьютерный блок управления и регистрации

Компьютерный блок управления последовательностью измерений, регистрации сигналов МФПУ, задания и регистрации температур МЧТ 5 должен выполнять следующие функции, в соответствии с загруженной в него компьютерной программой:

– Выдать на блок управления МЧТ 6 величину температуры излучения;

– Оценить стабильность во времени установленной температуры МЧТ 1 по значениям сигналов, полученных блоком 5 от датчика (датчиков) температуры МЧТ через блок 6;

– Выдать на блок 4 сигнал начала измерения выходных сигналов МФПУ, синхронизированный с одним из сигналов управления МФПУ, причём с заданным количеством повторений (N раз) данного измерения;

– Записать в память по N измеренных суммарных сигналов всех ФЧЭ МФПУ, соответствующей им величины температур МЧТ и модулятора, продолжительности времени измерения сигналов, стабильности температуры МЧТ за время измерения, расстояния между МЧТ и МФЧЭ, величины времени накопления при измерении сигнала МФПУ, площади или диаметра диафрагмы МЧТ;

– Рассчитать и запомнить среднее значение сигналов при фиксированной температуре и среднеквадратичное отклонение их от среднего значения;

– Повторить все пункты для следующей задаваемой температуры МЧТ;

– Рассчитать, после завершения измерений при всех заданных значениях температур МЧТ, кривые амперваттной и вольтовой спектральной чувствительности, а также квантовой эффективности всех ФЧЭ МФПУ;

– Построить графики зависимостей $S_{lij}(\lambda)$, $S_{uij}(\lambda)$ и $\eta_{ij}(\lambda)$;

– Построить гистограммы зависимостей $S_{lij}(\lambda)$, $S_{uij}(\lambda)$ и $\eta_{ij}(\lambda)$;

– Построить 2D-зависимости $S_{lij}(\lambda)$, $S_{uij}(\lambda)$ и $\eta_{ij}(\lambda)$.

Условия функционирования метода

Немаловажным фактором работы метода будет являться математическая модель, описывающая сигнал ФЧЭ. Ниже мы рассмотрим различные условия, которые необходимо обеспечить для эффективной работы стенда.

Малые члены математической модели

При составлении математической модели сигнала ФЧЭ мы, скорее всего, сможем прене-

бречь малыми постоянными сигналами, обусловленными излучениями, попадающими на МФЧЭ от светоизолирующего экрана с диафрагмой и светофильтра, определяющего диапазон чувствительности МФПУ. В ИК МФПУ эти части, как правило, охлаждаются, и их потоки паразитного излучения составляют доли процента от остальных паразитных излучений. Их учет, впрочем, не составит труда, т. к. они описываются следующими выражениями:

$$\Phi_{xэ} = \left[1 - K_{\text{д}}(x, y, l_{\text{д}}) \right] \varepsilon_{xэ} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\frac{\partial R_{p,n}(\lambda, T_{xэ})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (2)$$

$$\Phi_{\text{сф}} = K_{\text{д}}(x, y, l_{\text{д}}) \times \left[1 - K_{\text{сф}}(\lambda) \right] \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\frac{\partial R_{p,n}(\lambda, T_{\text{сф}})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (3)$$

где $K_{\text{д}}(x, y, l)$ – коэффициент пропускания диафрагмы МФПУ [2];

$K_{\text{сф}}(\lambda)$ – коэффициент пропускания светофильтра в спектральном интервале чувствительности МФПУ $[\lambda_1, \lambda_2]$;

$l_{\text{д}}$ – расстояние от диафрагмы МФПУ до МФЧЭ;

$\varepsilon_{xэ}$ – степень черноты светоизолирующего экрана;

$T_{xэ}$ – температура светоизолирующего экрана МФПУ, К;

$T_{\text{сф}}$ – температура светофильтра МФПУ, К;

$\frac{\partial R_{p,n}(\lambda, T)}{\partial \lambda}$ – функции Планка, p – Вт см⁻² мкм⁻¹;

n – квант см⁻² с⁻¹ мкм⁻¹ [3].

В выражении (3) степень черноты светофильтра $\varepsilon_{\text{сф}}$ выражается через коэффициент пропускания светофильтра $K_{\text{сф}}$.

Степень разряда накопительных емкостей

При измерении спектра фоточувствительности МФПУ может понадобиться сохранять примерно постоянную степень разряда емкостей накопления в БИС-мультиплексоре. Это сохранит постоянную величину коэффициента передачи БИС-мультиплексора МФПУ в случае, если он не будет постоянным в рабочем диапазоне входных сигналов. Выполнить это условие можно следующим образом. Полезное ИК-излучение попадает на матрицу фоточувствительных элементов (МФЧЭ) сквозь выходную диафрагму МЧТ, модулятор, входное окно МФПУ, светофильтр и генерирует в каждом ФЧЭ носители заряда, попадающие в накопительные емкости БИС-мультиплексора, формирующего его выходной сигнал. Выходной

сигнал определяется суммой интегрального количества носителей заряда, накопленных на емкостях от фонового излучения, излучения входного окна МФПУ, темнового тока ФЧЭ, модулированного излучения МЧТ, и постоянного выходного сигнала БИС-мультиплексора при нулевых входных воздействиях. Коэффициент пропорциональности между входными воздействиями и выходным сигналом при этом может быть переменным. Поэтому, поддерживая постоянный выходной сигнал МФПУ на заданном уровне, мы выполним условие постоянства коэффициента пропорциональности. Сделать это при увеличении температуры МЧТ можно, например, снижая время накопления МФПУ или/и уменьшая диаметр диафрагмы МЧТ, или/и увеличивая расстояние между МЧТ и МФЧЭ. Это можно осуществить методом, изложенным в [4]. При этом мы всегда имеем возможность рассчитать необходимую величину степени разряда накопительных емкостей МФПУ [5]. В стенде эту функцию автоматически выполняет блок 5, управляя величиной площади диафрагмы МЧТ и величиной времени накопления МФПУ или выдавая данные о необходимой величине расстояния между МЧТ и МФЧЭ при заданных размерах диафрагмы МЧТ и времени накопления.

Модель выходных сигналов ИК МФПУ

Рассмотрим более подробно генерацию интегрального выходного сигнала ИК МФПУ, который можно записать следующим образом:

$$V_{\text{сигн}} = V_{\text{МЧТ}} + V_{\text{фон}} + V_{\text{мод}} + V_{\text{во}} + V_{\text{темн}} + V_0 \quad (4)$$

где $V_{\text{МЧТ}}$ – модулированный выходной сигнал МФПУ [1], генерированный излучением МЧТ;

$V_{\text{фон}}$ – немодулированный выходной сигнал МФПУ, генерированный излучением окружающего фона [5];

$V_{\text{мод}}$ – модулированный выходной сигнал, МФПУ генерированный излучением модулятора;

$V_{\text{во}}$ – немодулированный выходной сигнал, генерированный излучением входного окна МФПУ [5];

$V_{\text{темн}}$ – немодулированный выходной сигнал МФПУ, генерированный темновым током ФЧЭ [5];

V_0 – немодулированный постоянный выходной сигнал мультиплексора МФПУ [5].

Первый сигнал генерируется модулированным излучением МЧТ. В результате него возникает переменный фототок ФЧЭ, обусловленный указанным облучением.

В соответствии с [6], в расчетах необходимо учитывать действующее значение светового потока Φ_3 , которое выражается следующей формулой:

$$\Phi_3 = \Phi_0 \beta \quad (5)$$

где Φ_0 – величина немодулированного светового потока от МЧТ, Вт см⁻² или фотон см⁻² с⁻¹ [5];

β – коэффициент формы модуляции [6].

Модулированный световой поток, падающий на ФЧЭ от МЧТ с малой излучающей площадкой, в соответствии с [1], будет описываться следующим выражением:

$$\Phi_3 = K_{\text{МЧТ}}(x, y, L) \varepsilon_0 \beta \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[K_{\text{во}}(\lambda) K_{\text{сф}}(\lambda) \frac{\partial R_{p,n}(\lambda, T_{\text{МЧТ}})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (6)$$

где $K_{\text{МЧТ}}(x, y, L)$ – коэффициент излучения МЧТ [7];

$K_{\text{во}}(\lambda)$ – коэффициент пропускания входного окна МФПУ;

$K_{\text{сф}}(\lambda)$ – коэффициент пропускания светового фильтра в спектральном интервале $[\lambda_1, \lambda_2]$;

L – расстояние от МЧТ до МФЧЭ, см;

ε_0 – степень черноты излучения МЧТ.

Модулированный выходной сигнал любого ФЧЭ, $V_{\text{св}}$, будет описываться следующими интегральными уравнениями, компонентами которых являются токовая чувствительность $S_I(\lambda)$, вольтовая чувствительность $S_U(\lambda)$ или квантовая эффективность $\eta(\lambda)$ [2]:

$$V_{\text{св}}(T_{\text{МЧТ}}) = \frac{\varepsilon_0 \tau A_S K_{\text{МЧТ}}(x, y, L) K_0 \beta}{C_{\text{н}}} \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[K_{\text{во}}(\lambda) K_{\text{сф}}(\lambda) S_I(\lambda) \frac{\partial R_p(\lambda, T_{\text{МЧТ}})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (7)$$

$$V_{\text{св}}(T_{\text{МЧТ}}) = \varepsilon_0 A_S K_{\text{МЧТ}}(x, y, L) K_0 \beta \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[K_{\text{во}}(\lambda) K_{\text{сф}}(\lambda) S_U(\lambda) \frac{\partial R_p(\lambda, T_{\text{МЧТ}})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (8)$$

$$V_{\text{св}}(T_{\text{МЧТ}}) = \frac{\varepsilon_0 \tau A_S q K_{\text{МЧТ}}(x, y, L) K_0 \beta}{C_{\text{н}}} \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[K_{\text{во}}(\lambda) K_{\text{сф}}(\lambda) \eta(\lambda) \frac{\partial R_n(\lambda, T_{\text{МЧТ}})}{\partial \lambda} \right] d\lambda \quad (9)$$

где A_S – площадь ФЧЭ, см²;

τ – время накопления МФПУ, с;

K_0 – коэффициент передачи БИС-мультиплексора;

q – заряд электрона, Кл·электрон⁻¹;

$S_I(\lambda)$ – спектральная токовая чувствительность ФЧЭ, А·Вт⁻¹;

$S_u(\lambda)$ – спектральная вольтовая чувствительность ФЧЭ, В·Вт⁻¹;

$\eta(\lambda)$ – спектральная квантовая эффективность ФЧЭ, электрон·квант⁻¹.

Коэффициент передачи мультиплексора K_0 может быть просто измерен экспериментально, например, как зависимость $U_{\text{вых}}(\tau, T)$, и пересчитан в $U_{\text{вых}}[U_{\text{вх}}(\tau, T)]$ при разных температурах и диафрагмах МЧТ, а также разных расстояниях МЧТ-МФЧЭ.

Во всех выражениях (7), (8) и (9) стоит коэффициент излучения МЧТ [4] $K_{\text{МЧТ}}(x, y, L)$. Заметим, что в этих выражениях все параметры, стоящие перед знаком интеграла, известны и не зависят от $T_{\text{МЧТ}}$ и λ . Обозначим их буквой W . В каждой подинтегральной функции содержатся три известных параметра $K_{\text{во}}(\lambda)$, $K_{\text{эф}}(\lambda)$ и $\frac{\partial R_{p,n}(\lambda, T_{\text{МЧТ}})}{\partial \lambda}$, значения которых нам известны при любой заданной длине волны облучения. Для определения остается лишь один неизвестный параметр $S_f(\lambda)$, $S_u(\lambda)$ или $\eta(\lambda)$.

Таким образом, мы получим систему уравнений, которые называют интегральными уравнениями Фредгольма первого рода [1]. Решение похожей системы описано в [8]. Решение системы даст нам необходимые значения функций $S_f(\lambda)$, $S_u(\lambda)$ или $\eta(\lambda)$, которые и будут являться абсолютными спектральными характеристиками МФПУ.

Измерение сигналов

Если при каждом фиксированном уровне облученности зарегистрировать интегральный сигнал ФЧЭ N раз, вычислить его среднее значение и среднеквадратичное отклонение от среднего сигнала, то мы автоматически получим величину модулированного светового сигнала $V_{\text{МЧТ}}$. При этом ошибка в определении величины сигнала, пропорциональная величине $1/\sqrt{N}$, будет тем меньше, чем большее количество измерений интегрального сигнала при постоянной температуре МЧТ будет выполнено, или чем больше будет величина N . Время, затраченное на такое количество измерений в автоматическом режиме, примерно, будет равно $Nt_{\text{кадра}}$. Установлено, что для получения точности измерения сигнала в несколько процентов необходимо выполнить не менее $N = 512$ измерений сигнала при каждой фиксированной температуре МЧТ.

Если провести измерение выходных сигналов ИК МФПУ при M температурах МЧТ, то мы получим M значений выходного модулированного сиг-

нала каждого ФЧЭ МФПУ. Время, затраченное на эти измерения, будет составлять

$$t_{\text{изм}} \approx NMt_{\text{кадра}} + Mt_{\text{стац}} + (M-1)t_{\text{пер}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{пер}}$ – время перехода от одной температуры МЧТ к следующей.

При $M = 50$, $N = 512$, $t_{\text{кадра}} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ с, $t_{\text{стац}} \approx 5$ с и $t_{\text{пер}} \approx 60$ с величина $t_{\text{изм}}$ не будет превышать пятидесяти шести минут (56 минут).

Измеренный массив данных должен будет соответствовать 20–50 точкам на спектральной кривой для каждого ФЧЭ. После обработки измеренного массива данных компьютером в автоматическом режиме будут рассчитаны три вида спектров фоточувствительности всех ФЧЭ МФПУ: спектр токовой чувствительности $S_f(\lambda)$, спектр вольтовой чувствительности $S_u(\lambda)$ и спектр квантовой эффективности $Q(\lambda)$.

Такой метод измерения сигнала ФЧЭ, будет корректным и достаточно точным [1], т. к. будет измеряться и фигурировать в расчетах только величина точно измеренного модулированного сигнала МЧТ.

В расчете ПЭВМ будет использоваться только истинное значение облученности от МЧТ, а не его сумма с несколькими дополнительными облученностями, что внесло бы заметную ошибку в значения спектральных составляющих квантовой эффективности, токовой или вольтовой чувствительности всех ФЧЭ МФПУ. Эти спектральные компоненты ранее были вообще недоступны при измерениях чувствительности МФПУ на стандартных монохроматорах [9] и Фурье-спектрометрах [10]. На этих приборах можно было измерять лишь относительную спектральную чувствительность одиночных тестовых ФЧЭ, а не всех ФЧЭ матрицы. Затем полученный спектр фоточувствительности необходимо было калибровать по аттестованному фотоприемнику для получения абсолютного значения спектральной характеристики. Предлагаемый метод позволит измерить следующие абсолютные спектральные чувствительности всех ФЧЭ матрицы ИК МФПУ: токовая чувствительность $S_f(\lambda)$, вольтовая чувствительность $S_u(\lambda)$ и квантовая эффективность $\eta(\lambda)$.

Заключение

Представлен анализ метода и стенда измерения спектров абсолютной фоточувствительности без спектральных приборов. Определены требования к составным частям стенда. Проведен анализ мероприятий, необходимых для экспериментального подтверждения работоспособности предложенного метода, выработаны функциональные и

технические требования к его блокам. Показаны преимущества предложенного метода в сравнении с методами, использующими спектральные приборы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковшов В. С., Патрашин А. И., Никонов А. В. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 5. С. 443.
2. Филачев А. М., Патрашин А. И., Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Шабаров В. В. // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 3. С. 272.
3. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. – М.: Физматкнига, 2005.

4. Патрашин А. И., Козлов К. В., Ковшов В. С., Никонов А. В., Стрельцов В. А. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 4. С. 349.
5. Патрашин А. И., Бурлаков И. Д., Корнеева М. Д., Шабаров В. В. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 6. № 1. С. 38.
6. ГОСТ 17772-88. Приложение 4. Госкомитет СССР по стандартам. – М.: Изд. стандартов, 1988. Приложение 4. С. 52–54.
7. Патрашин А. И., Никонов А. В., Ковшов В. С. // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 2. С. 157.
8. Васильева А. Б., Тихонов Н. А. Интегральные уравнения. – М.: Физматлит, 2002.
9. Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии. – М.: Наука, 1973.
10. Белл Р. Дж. Введение в Фурье-спектроскопию. – М.: Мир, 1975.

PACS: 85.60.Gz, 44.40 +a, 07.57.Kp, 42.88. +h

IR array absolute spectral characteristics measurement by an alternative method

A. I. Patrashin¹, V. S. Kovshov^{1,2}, A. V. Nikonov^{1,2}, and I. D. Burlakov^{1,3}

¹Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia
E-mail: kny_z_vladimir8@mail.ru

²Moscow Institute of Physics and Technology
9 Institutskiy al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

³MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA)
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received December 22, 2018

Physical and technical aspects realization of infrared array's measurement of absolute spectral characteristics (current sensitivity, voltage sensitivity and quantum efficiency) without spectral equipment (monochromator, Fourier spectrometer) is considered. The alternative method is based on measuring of array's output signal measurements generated by successively set intensity modulated light beam from black body (BB) with different temperatures. These signals are measured against background of constant signals from dark current, background, input window, chopper disk and constant output signal of LSI multiplexer. The measurement results represent the system of Fredholm's integral equations. Its left part is experimentally measured variable signals but right part includes mathematical expressions describing these signals. Its solution gives us absolute values of spectral components of current sensitivity, voltage sensitivity and quantum efficiency for each array's photosensitive element (PSE). The equipment scheme and its functional features is considered and analyzed. It is also shown the extra advantages of new method over the existent methods and techniques.

Keywords: useful and parasitic irradiation, BB useful radiation modulation, IR array output signal, current and voltage sensitivity spectrum, quantum efficiency spectrum, long-wavelength cutoff histogram.

REFERENCES

1. V. S. Kovshov, A. I. Patrashin, and A. V. Nikonov, Usp. Prikl. Fiz. **6** (5), 443 (2018).
2. A. M. Filachev, A. I. Patrashin, et al., Usp. Prikl. Fiz. **4** (3), 272 (2016).
3. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid State Photoelectronics. Physical Foundations* (Moscow, Fizmatkniiga, 2005) [in Russian].
4. A. I. Patrashin, K. V. Kozlov, et al., Usp. Prikl. Fiz. **6** (4), 349 (2018).
5. A. I. Patrashin, I. D. Burlakov, et al., Usp. Prikl. Fiz. **6** (1), 38 (2014).
6. GOST 17772-88.
7. A. I. Patrashin, A. V. Nikonov, and V. S. Kovshov, Usp. Prikl. Fiz. **6** (2), 157 (2018).
8. A. B. Vasileva and N. A. Tikhonov, *Integral Equations* (Moscow, Fizmatlit, 2002) [in Russian].
9. A. N. Zeidel, G. V. Ostrovskaya, and U. I. Ostrovskiy, *Techniques and Practice of Spectroscopy* (Moscow, Nauka, 1973) [in Russian].
10. R. J. Bell, *Introduction in the Fourier spectroscopy* (Moscow, Mir, 1975) [in Russian].