

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИБОРА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЕГО САМОРАЗОГРЕВА В ОДНОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

© Н. Л. Евдокимова, В. С. Ежов

ОАО «НПП «Пульсар», 105187, Москва, Окружной пр., 27

В сообщении предложен метод пирометрического измерения температуры, в котором значение реальной излучательной способности поверхности ( $\epsilon$ ) полупроводникового прибора и его температура в рабочем режиме определяются в одном измерительном процессе. Это позволяет повысить точность и существенно сократить затраты времени на проведение измерений.

**Ключевые слова:** температура полупроводниковых приборов, ИК измерения, излучательная способность

**Сведения об авторах:** Евдокимова Наталья Львовна, к.т.н., [atali.evdokimova@mail.ru](mailto:atali.evdokimova@mail.ru); Ежов Владимир Самуилович, к.т.н., [v\\_ejov@pulsarnpp.ru](mailto:v_ejov@pulsarnpp.ru)

---

## THE DETERMINATION OF THE EMISSIVITY AND THE SELF HEATING TEMPERATURE OF SEMICONDUCTOR DEVICES IN ONE MEASUREMENT PROCESS

N. L. Evdokimova, V. S. Ejov

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okrughnoy proezd, 27

This paper proposes the method of temperature measurement by a pyrometer, in which actual emissivity value ( $\epsilon$ ) of semiconductor devices surface and their working temperature are determined in one measurement. This allows to raise accuracy of measurements and to reduce time of measurements.

**Keywords:** temperature of semiconductor devices, IR measurements, emissivity

**Data of authors:** Evdokimova Natalia Lvovna, Ph.D., [atali.evdokimova@mail.ru](mailto:atali.evdokimova@mail.ru); Ejov Vladimir Samuilovich, Ph.D., [v\\_ejov@pulsarnpp.ru](mailto:v_ejov@pulsarnpp.ru)

### **Введение**

Температура полупроводниковых приборов в рабочем режиме может быть определена по их тепловому излучению с помощью инфракрасного пирометра. Пирометрический метод измерения температуры часто используют для контроля температуры прибора в рабочем режиме, что позволяет выявлять места локальных перегревов. Точное измерение температуры невозможно без определения  $\epsilon$  (излучательной способности) поверхности по-

лупроводниковых приборов. Различные методики определения  $\epsilon$  даны в [1]. Используя их, определяют  $\epsilon$  поверхности исследуемого прибора, затем полученное значение задают на пирометре и только потом производят измерение температуры поверхности пирометром. Необходимость предварительного определения  $\epsilon$  существенно увеличивает затраты времени на проведение измерения. Кроме того, при таком подходе не исключено, что  $\epsilon$  и температура определяются в разных точках

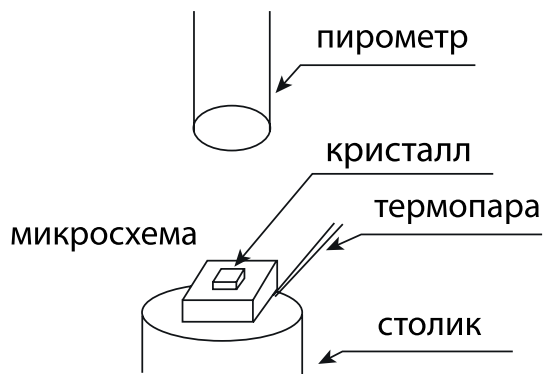


Рис. 1  
Схема установки

поверхности прибора, что неизбежно приводит к неточности в определении температуры.

### Основные результаты

Предлагаемый метод позволяет провести определение  $\varepsilon$  и температуры саморазогрева в одном измерительном процессе, что сокращает затраты времени на проведение измерений. Кроме того, поскольку измерения проводят в одной точке поверхности прибора, повышается точность определения температуры. Этот метод является развитием метода определения  $\varepsilon$  по двум температурам, предложенного в [2]. В данной работе был использован пирометр фирмы Optris, позволяющий записывать показания термопары и пирометра на компьютер в программе Optris Connect. Рассмотрим применение данного метода для измерения температуры кристалла микросхемы. Схема измерения показана на рис. 1. Термопара измеряет температуру корпуса микросхемы. Пирометр измеряет температуру кристалла.

На микросхему от внешних источников питания задаётся разогревающий режим. Для измерения реальной мощности теплового излучения в программе Optris Connect выставляется  $\varepsilon = 1$ . В процессе измерения записываются показания пирометра (при  $\varepsilon = 1$ ) и термопары в трёх режимах: до подачи разогревающего режима, во время и после его отключения (рис. 2).

В [2] показано, что для определения  $\varepsilon$  нужно использовать любые два момента времени, когда кристалл находится в термодинамическом равновесии с корпусом, при этом температура кристалла равна температуре корпуса. Это точка 1, выбираемая на участке до подачи разогревающего импульса, соответствующие ей температура термопары  $T_{\Gamma 1}$  и температура кристалла, определяемая по пирометру (при  $\varepsilon = 1$ )  $T_{\Gamma 1}$  и точка 2, когда разогревающая мощность не подаётся, кристалл остыл до температуры корпуса и при этом кристалл микросхемы остывает вместе с корпусом. Данной точке 2 соответствует температура термопары  $T_{\Gamma 2}$  и температура  $T_{\Gamma 2}$ , показываемая пирометром. При этом значение  $\varepsilon$  рассчитывается через температуры, выраженные по шкале Кельвина по формуле [2]:

$$\varepsilon = \frac{T_{\Gamma 1}^4 - T_{\Gamma 2}^4}{T_{\Gamma 1}^4 - T_{\Gamma 2}^4}. \quad (1)$$

Определим температуру саморазогрева кристалла при подаче на прибор разогревающей мощности, например в точке 3. Зная  $\varepsilon$ , определяемое из точек 1 и 2 (при термодинамическом равновесии кристалла и корпуса), и используя точку 3 в режиме саморазогрева ( $T_{\Gamma 3}$ ), можно определить реальную температуру кристалла при подаче на него разогревающей мощности. Обозначим её  $T_{X3}$ . Тогда, сравнивая точки 1 и 3 (также как в формуле (1) сравнивались точки 1 и 2), получим для  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{T_{\Gamma 3}^4 - T_{\Gamma 1}^4}{T_{X3}^4 - T_{\Gamma 1}^4}. \quad (2)$$

Выражая  $T_{X3}$  из (2) через  $\varepsilon$ , получим:

$$T_{X3} = \sqrt[4]{\left(\frac{T_{\Gamma 3}^4 - T_{\Gamma 1}^4}{\varepsilon} + T_{\Gamma 1}^4\right)}. \quad (3)$$

Таким образом, за одно измерение по значениям  $T_{\Gamma 1}$ ,  $T_{\Gamma 1}$ ,  $T_{\Gamma 2}$ ,  $T_{\Gamma 2}$  и  $T_{\Gamma 3}$  можно определять реальную температуру кристал-

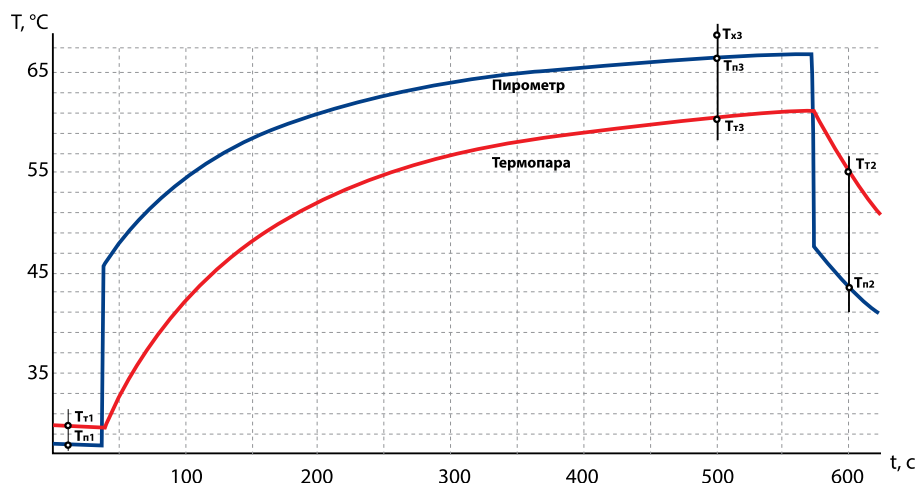


Рис. 2

Кривые саморазогрева микросхемы при  $\epsilon = 1$

ла в режиме разогрева  $T_{X3}$ . Температура в градусах Цельсия при этом будет равна:

$$T_{X3} (^{\circ}C) = T_{X3} - 273. \quad (4)$$

Полученные из рис. 2 значения температур  $T_{T1}$ ,  $T_{П1}$ ,  $T_{T2}$ ,  $T_{П2}$  и  $T_{П3}$  и результат расчёта по формулам (2)-(4) температуры саморазогрева  $T_{X3}$  даны в таблице.

Из первых четырёх столбцов таблицы (после перевода температур в шкалу Кельвина) по формуле (1) было найдено  $\epsilon = 0,578$  и затем по формуле (3) была найдена температура кристалла в рабочем режиме. Полученное значение  $T_{X3}$  по шкале Цельсия дано в последнем столбце таблицы. Была сделана оценка влияния выбора второй точки. При изменении второй точки от 580 °C до 620 °C (рис. 2) значения  $\epsilon$  менялись от 0,575 до 0,586, а температура точки  $T_{X3}$  от 89,1 °C до 88,2 °C. Таким образом, погрешность метода около 1 %.

Была проведена экспериментальная проверка полученного значения  $T_{X3}$ . На пирометре было задано  $\epsilon = 0,578$  и снята кривая саморазогрева в том же электрическом режиме. Отклонение измеренной температуры  $T_{X3}$  от температуры, полученной из расчёта (таблица), составило 0,7 %. Таким образом, предлагаемая методика определения температуры кристалла даёт хорошую точность при использовании на практике. В формуле (2) можно сравнивать не точки 1 и 3, а точки 2 и 3. При этом  $T_{T1}$  и  $T_{П1}$  в формуле (3) нужно заменить на  $T_{T2}$  и  $T_{П2}$ . Результат расчёта совпадает с точностью пяти значащих цифр. Другим достоинством данной методики является то, что поскольку метод является разностным, то отсутствует влияние на результат значения температуры окружающей среды.

Одновременное измерение температуры кристалла пирометром и корпуса термопарой может быть использовано для определения тепловых сопротивлений кристалл-корпус  $R_{t \text{ к-кор}}$  и кристалл-среда  $R_{t \text{ к-сп}}$ :

Таблица

Значения температур, приведённых на рис. 2

$T_{T1}, ^{\circ}C$	$T_{П1}, ^{\circ}C$	$T_{T2}, ^{\circ}C$	$T_{П2}, ^{\circ}C$	$T_{T3}, ^{\circ}C$	$T_{П3}, ^{\circ}C$	$T_{X3}, ^{\circ}C$
29,7	27,9	60,6	47,2	60,4	66,3	89,4

$$R_{t \text{ к-кор}} = \frac{T_{\text{хз}} - T_{\text{Тз}}}{P}, \quad (5)$$

$$R_{t \text{ к-сп}} = \frac{T_{\text{хз}} - T_{\text{Т1}}}{P}, \quad (6)$$

где  $P$  – мощность, подаваемая на прибор.

Используя данные таблицы и учитывая, что подаваемая на микросхему мощность составляла 3,65 Вт, по формулам (5) и (6) получим тепловое сопротивление кристалл-корпус  $R_{t \text{ к-кор}} = (89,4-60,4)/3,65 = 7,6$  °С/Вт и тепловое сопротивление кристалл-среда  $R_{t \text{ к-сп}} = (89,4-29,7)/3,65 = 16,0$  °С/Вт.

### Заключение

Предлагаемая методика позволяет провести измерение излучательной способности поверхности прибора и его температуры при саморазогреве за одно измерение, что повышает точность и существенно сокращает затраты времени на проведение измерений. Излучательная способность и температура саморазогрева рассчитываются по форму-

лам (2)-(4). Метод удобен для определения тепловых сопротивлений кристалл-корпус и кристалл-среда по формулам (5) и (6).

### Литература

1. Non-Contact Temperature Measurement, the company «Optris». URL: [http://www.optris.com/tl\\_files/pdf/Downloads/IR-Basics.pdf](http://www.optris.com/tl_files/pdf/Downloads/IR-Basics.pdf) (дата обращения: 21.05.2014)
2. Евдокимова Н. Л., Ежов В. С., Иванов С. В., Минин В. Ф., Синкевич В. Ф. Способ определения излучательной способности поверхности полупроводниковых приборов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2012. – № 2 (229). – С. 57-63.

### References

1. Non-Contact Temperature Measurement, the company «Optris». URL: [http://www.optris.com/tl\\_files/pdf/Downloads/IR-Basics.pdf](http://www.optris.com/tl_files/pdf/Downloads/IR-Basics.pdf) (accessed 21 May 2014).
2. Evdokimova N. L., Ejov V. S., Ivanov S. V., Minin V. F., Sinkevich V. F. The determination method of emissivity of the semiconductor devices surface. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 2. Poluprovodnikovye pribory* [Electronic engineering. Ser. 2. Semiconductor devices], 2012, № 2, pp. 57-63.