

Методы рентгеновской проекционной и контактной микроскопии имеют свои ограничения, связанные с особенностями взаимодействия рентгеновских лучей с материалом объекта: для получения контрастного изображения объекта необходимо, чтобы его различные участки по-разному поглощали излучение. Это условие, как правило, не выполняется для материалов с небольшим порядковым номером – полимеров, пластиков, полимерных композитов, которые слабо поглощают рентгеновские лучи. Поэтому получение изображения объектов, выполненных из материалов с малым порядковым номером, и которые слабо поглощают рентгеновские лучи, является актуальной задачей. Нами разрабатывается стереофотографический метод получения изображения слабопоглощающих рентгеновское излучение объектов [1]. В рамках разрабатываемого метода съемка объекта производится при двух положениях источника излучения, смещенных перпендикулярно относительно оптической оси системы. В исследованиях рентгеновская трубка БСВ-17 располагалась на расстоянии 400 мм до объекта, объект – на расстоянии 20 мм до камеры. Два полученных изображения объекта в рентгеновских лучах обрабатывались с использованием компьютерной программы StereoPhoto Maker, которая специально предназначена для построения стереоизображений.

На рис. 4 показаны рентгеновские изображения зерен риса, стеклянных микрокапилляров и их стереоизображения.

Из рис. 4 видно, что использование метода стереофотографии в рентгеновском диапазоне длин волн позволило существенно увеличить контраст изображения: на стереоизображениях объектов по-

являются детали, которые отсутствуют в исходных изображениях.

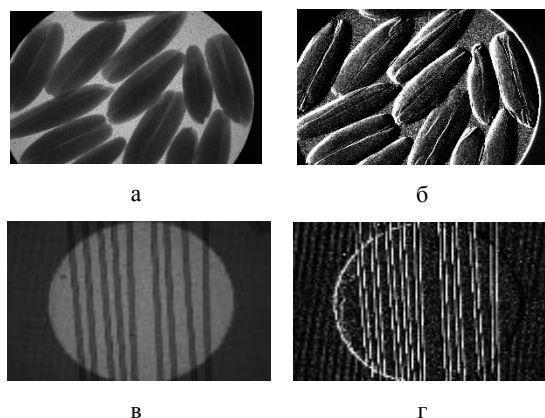


Рисунок 4 – Изображения различных объектов в рентгеновских лучах и их стереоизображения: а) изображение зерен риса в рентгеновских лучах; б) стереоизображение зерен риса; в) изображение стеклянных капилляров в рентгеновских лучах; г) стереоизображение стеклянных капилляров

**Благодарности.** Работа поддержана Министерством образования Республики Беларусь в рамках задания 3.07 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма «Техническая диагностика».

#### Литература

1. Дудчик, Ю. И. Получение изображения объектов в рентгеновских лучах методом стереофотографии / Ю. И. Дудчик // Приборостроение–2019 : материалы 13 международной науч.-техн. конф., 18–20 ноября 2019 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 19–20.

УДК 621.382

### МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ТЕСТИРОВАНИЯ МОЩНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ ИЛИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

Ефименко С.А., Кособуцкая Н.В.

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Тестирование – это измерение электрических параметров микросхем и полупроводниковых приборов и проведение функционального контроля микросхем. Поскольку мощные микросхемы и полупроводниковые приборы являются тепловыделяющими, их тестирование должно проводиться с учетом перегрева кристалла. В работе рассмотрены возможные способы их тестирования, в том числе учитывающие перегрев кристалла.

**Ключевые слова:** измерение, тестирование, тепловыделяющие микросхемы и полупроводниковые приборы.

### MODERNIZATION OF THE METHOD OF TESTING A POWERFUL INTEGRATED CIRCUIT OR SEMICONDUCTOR DEVICE IN THE TEMPERATURE RANGE

Efimenko S., Kosobutskaya N.

JSC "INTEGRAL" – Holding Management Company  
Minsk, Belarus

**Annotation.** Testing is the measurement of electrical parameters of microcircuits and semiconductor devices and carrying out functional control of microcircuits. Since high-power chips and semiconductor devices are heat-generating, their testing should be carried out taking into account the overheating of the crystal. The paper considers possible ways of testing them, including taking into account the overheating of the crystal.

**Keywords:** measurement, testing, heat-generating chips and semiconductor devices.

Адрес для переписки: Ефименко С.А., ул. Казинца И.П., 121А, г. Минск, 220108, Республика Беларусь  
e-mail: SEfimenko@integral.by

Интегральная микросхема или полупроводниковый прибор должны быть работоспособными в диапазоне температур среды: минус 10–70 °С при использовании в бытовой аппаратуре, минус 45–85 °С – в промышленной аппаратуре, минус 45–125 °С – в автомобильной аппаратуре, минус 60–125 °С – в аппаратуре специального и двойного назначения.

Электрические параметры микросхемы или полупроводникового прибора измеряют с использованием автоматизированных измерительных систем (АИС). Возможно проводить тестирование тремя способами:

- только в нормальных условиях при комнатной температуре  $25 \pm 10$  °С [1],
- при повышенной температуре после разогрева кристалла выделяемым теплом при прохождении через его элементы электрического тока [2],
- в диапазоне температур путем помещения приборов в камеру задания температуры [1].

Качество теплоотвода обычно выражается величиной теплового сопротивления. Тепловое сопротивление  $R_T$  определяется по формуле [3]:

$$R_T = (T_{кр} - T_{ср})/P \quad (1)$$

где  $T_{кр}$  – температура кристалла;  $T_{ср}$  – температура среды;  $P$  – рассеиваемая мощность.

Тепловой баланс в системе прибор – окружающая среда устанавливается через некоторое время после подачи напряжения.

Для различных участков прибора время установления постоянной температуры различно и зависит от конструктивных особенностей участков и теплоемкости материала. Так, тепловая постоянная переходного процесса  $\tau_T$  составляет для кристалла 15–20 мс, для прибора 4–8 с, для прибора с радиатором 100–200 с. Время тестирования всех параметров обычно составляет 0,5–5 с. Это означает то, что во время тестирования кристалл может перегреться и его температура выйти за допустимые пределы. При проведении тестирования на повышенной температуре, температуру кристалла определяют в соответствии с формулой (1).

Тестирование тепловыделяющих микросхем и полупроводниковых приборов указанными выше методами имеет ряд недостатков.

Тестирование только при комнатной температуре не может полностью гарантировать работоспособность мощной интегральной микросхемы или полупроводникового прибора в диапазоне температур.

Тестирование на повышенной температуре после разогрева кристалла выделяемым теплом при прохождении через его элементы электриче-

ского тока не учитывает разброс значений теплового сопротивления  $R_T$ , которое может значительно отличаться от прибора к прибору. Так для микросхемы стабилизатора напряжения в корпусе ТО-220  $R_{Ткр-ср}$  может принимать значения от 50 до 75 °С/Вт. Следовательно, разброс значений  $T_{кр}$  при  $T_{ср} = 25$  °С из-за разброса значений  $R_{Ткр-ср}$  при  $P = 1,6$  Вт может составлять от 105 до 145 °С, что выходит за требуемые пределы  $125 \pm 5$  °С для автомобильной аппаратуры и аппаратуры специального и двойного назначения.

Поскольку требуется время для специального нагревания кристалла проходящим через элементы схемы током, время тестирования одного прибора увеличивается.

Тестирование микросхем или полупроводниковых приборов проводится на трех температурах – пониженной, комнатной и повышенной в устройстве задания температуры. В качестве такого устройства могут использоваться проходные камеры типа ПКВ-1, ПКВ-2, ПКВ-5, устройство термостатирующие УИК.ИМ или ThermoJet, Хендлеры.

Поскольку при тестировании кристалл нагревается, его электрические параметры изменяются. На пониженной температуре для приборов аппаратуры специального и двойного назначения температура кристалла поднимется выше диапазона минус  $60 \pm 3$  °С, а при на повышенной температуре выше диапазона  $125 \pm 5$  °С.

Бракованный прибор может не забраковаться при тестировании и быть признан годным. Снижается процент выхода и ухудшается качество интегральных микросхем и полупроводниковых приборов из-за засоренности приборами, не соответствующими конструкторской документации.

Кроме того, поскольку температура кристалла не контролируется, в выпускаемых партиях приборов будут присутствовать приборы с завышенными значениями теплового сопротивления  $R_{T\text{кр-кор}}$ . Это будет приводить к повышенному разогреву кристалла микросхемы или полупроводникового прибора при эксплуатации и к снижению надежности.

Для исключения этих недостатков предложен модифицированный алгоритм проведения тестирования, приведенный на рис. 1. Микросхему или полупроводниковый прибор помещают в камеру задания температуры при тестировании на повышенной и пониженной температурах среды, задают требуемую температуру. Затем проводят тестирование: измерение электрических параметров в т.ч. параметров, приводящих к повышенному разогреву кристалла интегральной микросхемы или полупроводникового прибора и функциональный контроль. Измерение термочувствительного параметра  $U_{до}$  проводят первый раз перед

началом тестирования, второй раз – после проведения тестирования. По разнице показаний термочувствительного параметра определяют относительный перегрев и температуру кристалла. В качестве термочувствительного параметра может выступать прямое напряжение диода  $U_{д0}$ . Диод является одним из элементов микросхемы или полу-проводникового прибора.  $U_{д0}$  уменьшается на величину  $\alpha = 1,5-2,2$  мВ/°С при повышении температуры на 1 °С. В зависимости от значения относительного перегрева и температуры кристалла производят одно из следующие действий:

- признают интегральную микросхему или полупроводниковый прибор годными,
- проводят оптимизацию времени измерения,
- уточняют методики измерения параметров,
- понижают температуру среды (в камере),
- проводят забракование прибора из-за завышенного значения теплового сопротивления  $R_t$ .

Поскольку разница между температурой среды и температурой кристалла уменьшена, значение последней устанавливается более точно. Поскольку температура кристалла не выходит за допустимые рамки, исключается пропуск брака и забракование годного прибора на пониженной и повышенной температурах среды.



Рисунок 1 – Алгоритм проведения тестирования

### Литература

1. Козырь, И. Я. Качество и надежность интегральных микросхем / И. Я. Козырь. – М.: «Высшая школа», 1987. – 144 с.
2. Патент Японии JP2003279617, МПК G01R31/26; (IPC1-7): G01R31/26, 02.10.2003.
3. Основы силовой электроники / А. И. Белоус [и др.]. – Москва: «Техносфера», 2019. – 424 с.

УДК 371.693.4.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ С БЕССТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ НАГРУЗКИ Жуков И.И., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Ковель С.Г.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассмотрены устройство и методика физической реабилитации спортсменов после травм. В качестве основы устройства использован кросс-велотренажер. Обоснован выбор механизма редуктора с бесступенчатым изменением передачи, что позволяет гибко изменять параметры нагрузки в процессе реабилитации.

**Ключевые слова:** реабилитация, кросс-тренажер, нагрузка, ременной привод.

### THE DEVICE FOR PHYSICAL REHABILITATION OF SPORTSMEN WITH NONSTEP LOADING CHANGE

**Zhukov I., Svistun A., Tyavlovsky K., Kovel S.**

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** The device and technique of physical rehabilitation of sportsmen after traumas are considered. As a device basis cross-country-velosimulator is used. The choice of the mechanism of a reducer with nonstep transfer change that allows to change flexibly parameters loadings in the course of rehabilitation is proved.

**Key words:** rehabilitation, cross-country-training apparatus, loading, belt drive.

*Адрес для переписки: Жуков И.И., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: i.zhukov@bntu.by*

Ходьба, в том числе северная, и бег являются наиболее доступными средствами оздоровления, приемлемыми для людей всех возрастов и групп здоровья [1]. Кроме того, они часто применяются и

при реабилитации спортсменов после травм, полученных в ходе тренировок и соревнований. Кросс-тренажеры [2] обеспечивают возможность заниматься ходьбой и бегом как в спортивных