

Так как необходимо вычислить три угла  $\varphi_r$ ,  $\varphi_u$ ,  $\varphi_z$ , то программная запись в среде Python должна иметь систему из трех нелинейных уравнений. Поэтому уравнение для  $\varphi_u$  в среде Python будет записано так же и для  $\varphi_r$ .

### Литература

1. Родионов, В. И. Системы стабилизации и наведения зеркала с наклонным кардановым подвесом / В. И. Родионов, А. Д. Михед. – Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 7. – С. 190–196.
2. Родионов, В. И. Динамика системы стабилизации и наведения линии визирования с двухосным наклонным кардановым подвесом / В. И. Родионов, А. Д. Михед. – Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 191–195.
3. Михед, А. Д. Кинематика и динамика двухосной системы стабилизации и наведения линии визирования, учитывающая особенности движения зеркала / А. Д. Михед, В. И. Родионов, В. А. Смирнов. – Инженерная физика. – 2010. – № 11. – С. 20–24.

УДК 621.38

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ

Ассистент Микитевич В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время элементы Пельтье получили широкое распространение. В первую очередь это связано с их массовым производством, а также наличием следующих преимуществ, по сравнению с компрессорными охладителями: отсутствие подвижных элементов, отсутствие хладагента в разных агрегатных состояниях, малые габаритные размеры, простой способ реверсирования (охлаждение-нагрев). Однако элементы Пельтье обладают невысоким коэффициентом полезного действия, что требует правильного выбора режимов работы.

В документации на недорогие элементы Пельтье часто указывают максимальную мощность элемента при максимальной разности температур. Мощность, потребляемую элементом Пельтье, можно разделить на две составляющие. Первая составляющая связана с переносом тепла. Вторая – с нагревом элемента Пельтье, вызванного протекающим током через собственное сопротивление. При малых значениях мощности – малая эффективность охлаждения. При плавном увеличении мощности происходит увеличение эффективности охлаждения, а затем увеличивается тепловыделение и эффективность охлаждения падает. Это связано с тем, что радиатор не обеспечивает должного охлаждения горячей стороны.

Величина тока, протекающего через элемент Пельтье, зависит от разности температур, от приложенного напряжения. Поэтому для стабилизации мощности выполняют регулирование напряжения, а не тока.

Были проведены исследования элементов Пельтье TEC1-12706 и SP1848 (табл. 1).

Таблица 1 – Измеренные параметры элементов Пельтье TEC1-12706 и SP1848

TEC1-12706					SP1848			
$U$ , В	$I$ , А	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$P$ , Вт	$I$ , А	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$P$ , Вт
0	0,000	23	23	0,0	0,000	23	23	0,0
1	0,188	24	19	0,2	0,320	23	17	0,3
2	0,376	24	15	0,8	0,660	23	11	1,3
3	0,568	24	12	1,7	1,010	24	4	3,0
4	0,760	24	7	3,0	1,366	24	0	5,5
5	0,964	25	5	4,8	1,746	25	-7	8,7
6	1,164	25	2	7,0	2,120	26	-11	12,7
7	1,360	26	0	9,5	2,492	26	-14	17,4
8	1,556	26	-1	12,4	2,856	28	-16	22,8
9	1,752	27	-1	15,8	3,254	29	-17	29,3
10	1,964	28	-1	19,6	3,600	30	-18	36,0
11	2,132	29	0	23,5	3,920	33	-17	43,1
12	2,316	30	0	27,8	–	–	–	–
13	2,494	30	3	32,4	–	–	–	–
14	2,666	32	5	37,3	–	–	–	–

Установка напряжения  $U$  и контроль тока  $I$  осуществлялись блоком питания GPD-72303S. Контроль температуры горячей  $t_1$  и холодной  $t_2$  стороны выполнялся мультиметром DT838 с внешней термопарой. Элементы Пельтье закреплялись горячей стороной к радиатору охлаждения с тепловой трубкой Deer Cool Ice Blade 100. Холодная сторона находилась в непосредственном контакте с окружающим воздухом.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что для элемента TEC1-12706 рабочее напряжение 9 В позволяет достигнуть минимальной температуры  $-1\text{ }^\circ\text{C}$  при использовании данного типа радиатора охлаждения. При этом максимальная возможная электрическая мощность уменьшается до 15,8 Вт. Для элемента SP1848 рабочее напряжение 10 В позволяет достигнуть минимальной температуры  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  при тех же условиях. При этом электрическая мощность составила 36 Вт.

УДК 621.383

### КОМБИНИРОВАННЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

Студент гр. 11312120 Найден В. В.

Д-р техн. наук, профессор Гусев О. К., кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.  
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Оптические и магнитные датчики широко применяются в измерительных преобразователях (ИП) устройств неразрушающего контроля материалов и изделий. Возможности методов диагностики определяются, в основном, функциональными возможностями и параметрами измерительных преобразователей. Перспективным направлением совершенствования методов контроля является построение измерительных преобразователей систем неразрушающей диагностики на основе полупроводниковых приборов с возможностью преобразования нескольких разнородных физических величин [1, 2]. При построении сенсорных структур ИП, чувствительных к магнитному полю и оптическому излучению предлагается использование структуры магнитотранзистора, работающего на основе гальваномагниторекомбинационного эффекта [3], в котором область базы выполнена на основе полупроводника с низкой концентрацией глубокой примеси [2], формирующей в запрещенной зоне несколько энергетических уровней для разных зарядовых состояний. На рис. 1 приведены две структуры сенсора чувствительных к магнитному полю, причем их коэффициентом преобразования можно управлять оптическим излучением (пунктирные направления движения электронов). Пространственно ограниченное воздействие оптического излучения на область полупроводника вблизи одной из граней активной области сенсора позволяет изменить отношение времен жизни носителей заряда на освещенной и неосвещенных гранях 1 и 2 (рис. 1, б) от единицы до нескольких десятичных порядков. Это позволяет регулировать чувствительность к магнитному полю от нуля до величины, пропорциональной корню квадратному от отношения времен жизни носителей заряда на разных гранях базы.

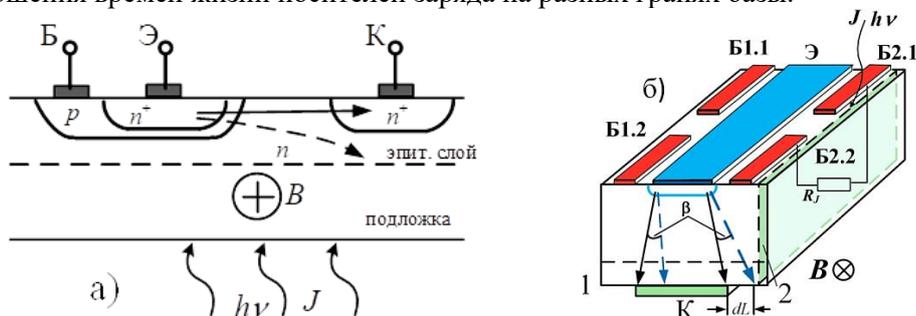


Рис. 1. Магнитооптические сенсоры на основе транзисторных структур: а – тип А, б – тип Б

В предлагаемой структуре изменение скорости рекомбинации не связано с изменением потенциального барьера на границе раздела, так как поверхностная рекомбинация [3] заменена на объемную [1, 2]. Использование слоя с оптически управляемыми параметрами