Е.Н.Пятышев, А.В.Одинцов
E. N. Pyatishev, A.V. Odinzov.

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

MICROMECHANICAL THERMAL CONVERTER OF ALTERNATING CURRENT POWER.

Санкт-Петербург, СПбГТУ, НИЛ «МТ и МЭМС»
Saint-Petersburg State Technical University, R&D Lab “MT&MEMS”

The microconverter construction and its manufacture process route designed. The approaching technological materials are selected. The heat fluxes and electrical performances simulations of the device are worked out. All fabrication operations, according to a process route are developed. Experimental samples are explored and results compared with a performance of secondary etalon. On the basis of obtained data the indispensable changes are introduced in to the microconverter construction. The upgraded thermoelectric converter at present of time is made according to a improved process route.

Микромеханический тепловой преобразователь предназначен для нахождения высокоточных значений напряжения переменного тока в частотном диапазоне от 0,1 до 10^6 Гц. Микропреобразователь разрабатывается с целью обеспечения метрологических измерений переменных электрических величин. Кроме основного, прибор может иметь ряд других применений: например, в цифровых вольтметрах и мультиметрах, в устройствах анализа сигналов сложной формы (акустических, механических, радио – и гидролокационных). На основе разработанной технологии изготовления термоэлектрического преобразователя возможно, при внесении ряда конструктивных изменений, создать следующие тепловые устройства: 1) датчик вакуума для давления от 10 до 10^{-2} мм.рт.ст., 2) тепловой анемометр, 3) датчик расхода, 4) тепловой акселерометр. При условии промышленного (массового) выпуска тепловых преобразователей стоимость приборов снизиться.

Основными структурными элементами любого термоэлектрического преобразователя являются нагреватель (иногда несколько нагревателей) и термоэлемент (чаще всего термопара или батарея термопар).

Связь между напряжением *U*, подаваемом на нагреватель, и термоэдс, приближенно определяется выражением:

$$U_{вых} = \frac{1}{S}\int_0^{\tau} \frac{U_{вх}^2}{R_{нагр}}\,dt \qquad (1)$$

где $U_{вых}$, $U_{вх}$ – выходное и входное напряжение, *S* – чувствительность, $R_{нагр}$ – сопротивление нагревателя, τ - постоянная времени, *t* - время.

Из выражения (1) следует основная особенность термопреобразователя - независимость ЭДС на его выходе от направления тока через входную цепь; это позволяет использовать преобразователь для измерения действующих значений переменного напряжения, тока, мощности и др.

Для расчета весь процесс преобразования разбивается на три основные стадии (figure 1):

1. Преобразование электрической энергии в тепловую посредством Джоулевой теплоты, выделяемой на нагревателе при прохождении через него электрического тока;
2. Перенос тепла через среду с определенной теплоемкостью и теплопроводностью и нагрев горячих спаев термопар;
3. Преобразование разницы температуры между горячими и холодными спаями термопар в выходное напряжение посредством термоэлектрического эффекта Зеебека.

@2002, электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

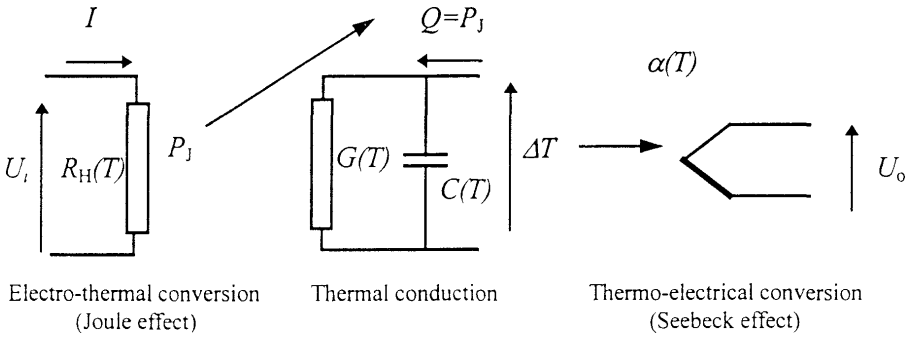

Figure 1 Model of a thermal converter.

Уравнения, описывающие работу преобразователя согласно представленной принципиальной схеме следующие:

$$Ui \rightarrow Pj = U_i^{\,2} / R\text{н} \rightarrow \Delta T = Pj / G \rightarrow U_0 = \alpha * 2N * \Delta T \qquad (2)$$

где *Ui* – входное напряжение, *Pj* – электрическая мощность нагревателя, Q – тепловая мощность, *Rн* – сопротивление нагревателя Δ*T* – разность температуры, *G* – теплопроводность, *C* - теплоемкость, U_0 – выходное напряжение, α – коэффициент термоэдс, 2*N* – число термопар.

Изготовленный преобразователь представляет собой уравновешенную пятислойную мембрану на основе нитрида и оксида кремния общей толщиной около 1 мкм на которой находятся активные элементы прибора - бифилярный нагреватель и две батареи термопар, состоящие из 40 термопар, изготовленные из n - и p – поликристаллического кремния (figure 2, 3). Сама же мембрана с активными элементами расположена на кремниевом основании. Размер чипа 5x6 мм при толщине 380 мкм. На одной стандартной кремниевой пластине (диаметром 76 мм) можно изготовить до 100 приборов.

Для проведения низкочастотных измерений под нагревателем с тыльной стороны мембраны изготавливается анизотропным химическим травлением кремниевая масса. Она является дополнительной тепловой емкостью, что увеличивает тепловую постоянную времени и как результат дает возможность производить измерения переменного тока или напряжения при низких частотах (0,1 - 100 Гц).

Технологический маршрут изготовления термоэлектрического преобразователя состоит из 29 этапов, использующих 10 различных технологических операций.

Основными операциями изготовления преобразователя являются: термическое и газофазное окисление; нанесение нитрида кремния и поликремния осаждением из газовой фазы; магнетронное напыление хрома и алюминия; ФЛГ; ИЛ бором и фосфором; плазмохимическое и глубокое жидкостное анизотропное травление.

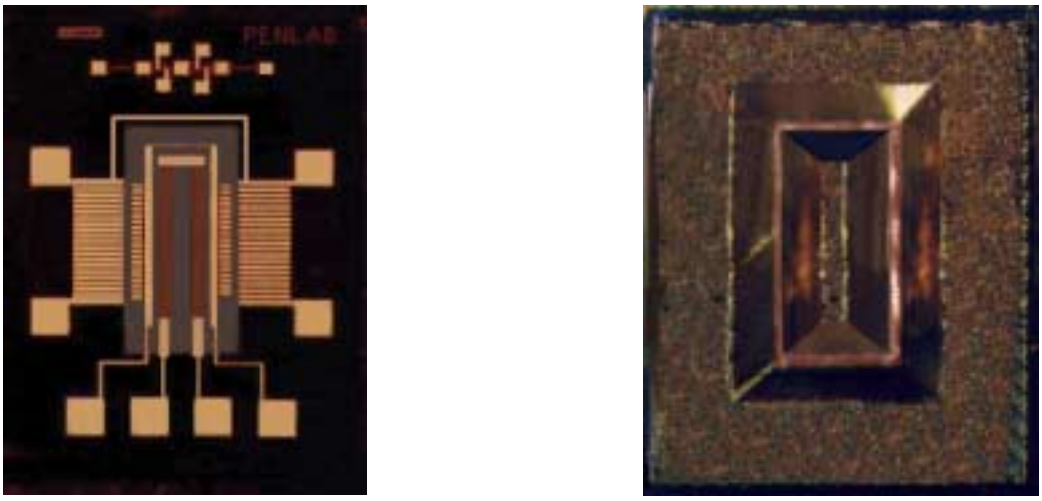

Figure 2. Microfoto of the thermoelectric converter of power alternating current.
(a) - front view, (b) - the back side.

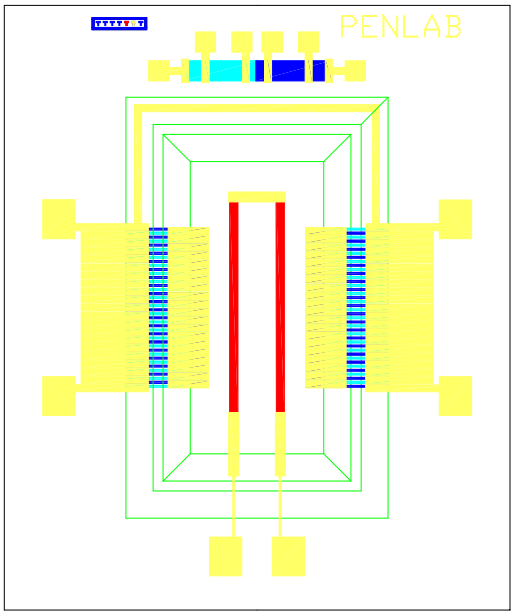

Figure 3. A topological converter scheme.

Основными достоинствами термоэлектрического микропреобразователя, по сравнению с эталонными многоэлементными преобразователями (ТЭМ-6), являются его высокие показатели стабильности во времени и чувствительности. К недостаткам следует отнести относительно большие значения погрешностей измерения, специфические для подобных преобразователей, такие как асимметрия и неквадратичность. Тем не менее, уже полученные и исследованные образцы микропреобразователей имеют значительно лучшие характеристики, чем преобразователи других типов. С целью снижения погрешностей в конструкцию внесены необходимые изменения. Усовершенствованный термоэлектрический преобразователь изготавливается согласно модернизированному технологическому маршруту. Ведутся разработки датчика расхода и вакуумметра с применением созданных модификаций микропреобразователя.