

## **Малогабаритные пьезоэлектрические вибрационные гироскопы широкого применения.**

*А.Я.Сафронов, В.Г.Никифоров, Д.Ю.Шахворостов, А.К.Калифатиди, В.В.Барыкин.*

Гироскопы широко известны как датчики, предназначенные для обнаружения движения вращения или же угловых перемещений объектов. Гироскоп является датчиком с широкой областью применения, при этом его работа не зависит от расстояния между его положением и центром вращения.

Вибрационные гироскопы (ВГ) нашли широкое применение во многих областях техники. Причина такого успеха – в новой технологии их изготовления, позволяющей получить необходимые для решения требуемых задач точностные параметры при резком снижении стоимости и улучшении массогабаритных характеристик.

Гироскопы в основном используются в системах навигации, системах обеспечения устойчивости и отсутствия вибраций, в автомобильной электронике: бортовые записывающие устройства, счетчики пути, противоугонные системы, беспилотные средства передвижения; в системах экстренного оповещения, в спутниковых антеннах, в офисной технике, в видеокамерах (для обнаружения произвольных движений руки) и др.

Существует множество различных видов гироскопов, однако малыми габаритами и относительно низкой стоимостью отличаются микромеханические гироскопы. Микромеханические гироскопы своим появлением обязаны в первую очередь успехам в развитии микроэлектронных технологий. Сейчас работы в области микромеханических гироскопов ведутся многими научными центрами в США, Японии, России, Южной Кореи, Франции, Швейцарии, Швеции, Китае. Наиболее известными производителями гироскопов на сегодняшний день являются фирмы «Murata», «Tokin», «Fujitsu», «Futaba», «JR-Graupner», «Ikarus», «CSM», «Robbe», «Hobbico» и др.

Одно из направлений развития микромеханических гироскопов связано с применением пьезокерамики для изготовления чувствительного элемента (вibrатора). Применение пьезокерамических материалов в конструкции вибраторов, в отличие от вибраторов микромеханических кремниевых гироскопов имеют ряд преимуществ: пьезокерамический материал может служить как для возбуждения колебаний в режиме обратного пьезоэффекта, так и для съема информации в режиме прямого пьезоэффекта. Кроме того, в биморфных пьезоэлектрических гироскопах этот же материал используется в качестве активной массы вибратора.

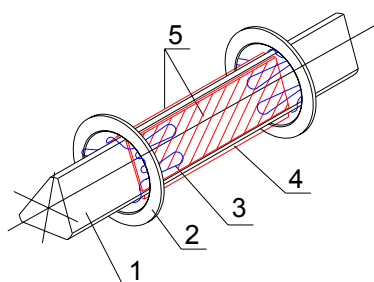
Такое триединое применение пьезокерамики позволяет значительно упростить конструкцию вибратора, снизить его массогабаритные характеристики. Кроме этого, следует отметить высокий коэффициент преобразования пьезокерамики как в режиме прямого, так и обратного пьезоэффекта.

Недостатком таких гироскопов является нестабильность его параметров в интервале температур, связанная с температурной нестабильностью пьезокерамики. Этот недостаток можно снизить как компенсационными способами, так и разработкой новых, более стабильных материалов.

Гироскопы, работа которых основана на использовании пьезоэлектрических вибраторов, называются пьезоэлектрическими вибрационными гироскопами. В последнее время наблюдается резкое уменьшение размеров пьезоэлектрических гироскопов, а также их выпуск в конструктивном исполнении, предназначенным для поверхностного монтажа. Повышение их точности способствовало расширению областей их применения. В данной статье рассматриваются основные принципы работы пьезоэлектрических вибрационных гироскопов, а также тенденции их миниатюризации и конструктивного исполнения с целью достижения высокой плотности упаковки.

В гироскопах используется физическое явление, известное как сила Кориолиса. Для объяснения природы данной силы часто используется маятник Фуко. Если массе, вибрирующей с определенной скоростью, придать вращательное движение с угловой скоростью, возникнет сила Кориолиса. Сила Кориолиса действует в направлении, перпендикулярном направлению движения маятника, и пропорциональна его угловой скорости. В пьезоэлектрическом вибрационном гироскопе имеется пьезоэлектрический керамический вибратор в виде бруска, вибрации которого аналогичны колебаниям маятника. Если указанной вибрирующей системе придать вращение с некоторой угловой скоростью, то возникнет сила Кориолиса, направленная перпендикулярно исходной вибрации. Так как в гироскопе используется пьезоэлектрическая керамика, то в соответствии с основными свойствами пьезоэлектрической керамики сила Кориолиса преобразуется в электрические сигналы.

В ОАО "Элпа" в содружестве с МГТУ им.Н.Э.Баумана разработан балочный вибрационный гироскоп, в котором использовался трехполюсный вибратор (рис.1), основным элементом которого является балка. На каждой грани балки приклеены по одному пьезоэлементу (ПЭ). На нижней стороне – возбуждающий ПЭ, на боковых гранях – измерительные ПЭ.



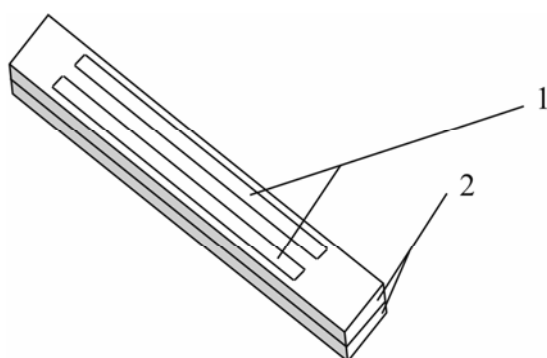
1. Балка
2. Диск
3. Подвес упругий
4. Пьезоэлемент силовой
5. Пьезоэлементы измерительные

Рис.1.

Поперечное сечение трехполюсного вибратора представляет собой равносторонний треугольник, в котором движущая сила направлена под углом относительно обнаруженной силы Кориолиса. В целях снижения влияния изменения температуры на параметры гироскопа балка изготовлена из прецизионного сплава марки 42НХТЮ, отличающегося высокой стабильностью модуля упругости, имеющего повышенную коррозионную устойчивость и минимальный температурный коэффициент линейного расширения в интервале рабочих температур.

Однако в этой конструкции гироскопа потребовалось решение ряда проблем. Так как в изделии применялось соединение металла с керамикой, характеристики гироскопа зависели от условий соединения металла и керамики. Кроме того, для трехмерного процесса требовалась сложная обработка сигнала и сложный способ монтажа (использование чрезвычайно тонких проволочных соединений), что усложняло производственный процесс.

Использование керамического биморфного вибратора (рис.2) в конструкции гироскопа позволяет снизить себестоимость и трудоемкость, т.е. решить проблемы, свойственные трехполюсному вибратору.



1- электроды  
2- пьезоэлектрические пластины,  
поляризованные в противоположных направлениях

Рис. 2

Отличительная особенность керамического биморфного вибратора состоит в наличии двух соединенных между собой керамических пластин, поляризованных в противоположном направлении. При приложении

напряжения к электродам пластин возникают изгибные колебания благодаря расширению одной из пластин и сжатию другой.

В случае керамического биморфного вибратора напряжение, прикладываемое к сформированным на плоской верхней поверхности правому и левому электродам, возбуждает вибратор. Вибрации обнаруживаются правым и левым электродами, расположенными на верхней поверхности вибратора, используемыми для возбуждения вибратора.

Для крепления вибратора используются поддерживающие штыри, выполняющие также функцию электрических соединений, что позволяет отказаться от использования тонких проволочных соединений, используемых в случае вибратора трехполюсного типа.

Центр вибратора углублен с целью разделения электродов верхней поверхности на правый и левый. Таким образом, формируются три электрода, включая электрод, расположенный на нижней поверхности.

Гироскопы такого типа, содержат интегральную микросхему для возбуждения колебаний и обнаружения угловой скорости вибратора и монтируются на печатную плату как простой чип. Это позволяет значительно уменьшить монтажную площадь и освободить пространство для других компонентов, монтируемых на печатной плате.

В прошлом вибрационные гироскопы были в основном устройствами с большим числом навесных элементов, что требовало применения ручной пайки для их монтажа. В отличие от этого, разрабатываемые гироскопы, предназначенные для поверхностного монтажа, позволяют осуществлять быстрый монтаж высокой плотности упаковки с помощью автоматизированных устройств.

По своим основным характеристикам миниатюрные гироскопы не уступают своим более габаритным аналогам. Более того, благодаря уменьшению размеров вибратора некоторые их характеристики улучшаются (таблица 1).

Таблица 1

	БВГ-500	БВГ-3	БВГ-4
Напряжение питания (постоянное), В	5±0,5	±11 ÷ ±15,5	±11 ÷ ±15,5
Потребляемый ток, не более, мА	15	8	8
Максимальная угловая скорость, град./с	±300	±600	±8000
Выходное напряжение при угловой скорости = 0, В	2±0,5	1,0±0,5	1,0 ±0,5
Коэффициент преобразования, мВ/град/с	5±0,15	13,2±2	1,0 ±0,15
Разрешение, град/с	0,02	0,1	0,1
Температурный коэффициент, %	±5	±5	±5
Линейность, %	±5	±5	±5
Дрейф нуля, не более, град/с	±0,5	±1,5	±1,5
Диапазон рабочих температур, °С	-25 ~ 70	-60 ~ 85	-60 ~ 85

Где БВГ-3,4 - гироскопы с треугольным вибратором,  
 БВГ-500 - гироскопы с биморфным вибратором.

Ожидается, что в будущем малогабаритные биморфные гироскопы найдут применение во многих областях техники. Что касается их использования в электронных устройствах широкого применения, то ожидается расширение их применения в цифровых камерах, а также в устройствах управления движениями роботов и радиоуправляемых моделей, координато-указательных устройствах, головных дисплеях, а также в устройствах интерфейса человека с электронным оборудованием.