

УДК 539.3

Е.В.Переяславец (асп., каф. МПУ),
А.И.Боровков, к.т.н., проф., Е.Н.Пятышев, к.ф.-м.н, доц.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ВИБРАЦИОННОГО ГИРОСКОПА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

В настоящее время микромеханические виброгироскопы находят все более широкое применение. Одним из наиболее активных потребителей микрогироскопов является автомобильная промышленность (системы навигации, управления и автоматического торможения, системы автоматической подвески и системы безопасности). Множество задач решается с помощью микрогироскопов в медицинской технике, в разработках компьютерного оборудования, в робототехнике, в создании миниатюрных систем ориентации и управления беспилотными летательными аппаратами и т. д. Привлекательными качествами этих приборов, определившими их быстрое развитие, являются низкая стоимость, высокая надежность и предельно малые габариты.

При изготовлении микромеханических устройств часто используется технология «Silicon-on-Glass» («Кремний-на-стекле»). В частности, таким способом изготавливаются вибрационные резонансные датчики с электростатическим приводом [1]. Одна из конструктивных особенностей таких датчиков – квазидвумерная геометрия и наличие консольного закрепления вибрирующих масс. Технологический маршрут изготовления подобных структур включает в себя несколько последовательных операций, в результате чего образуется монокристаллическая кремниевая структура толщиной 10-20 мкм, консольно

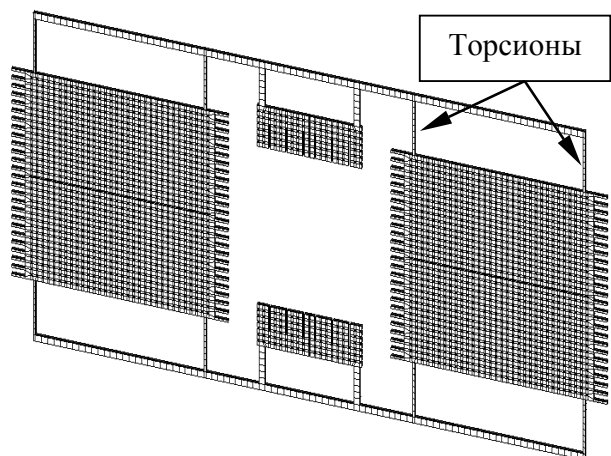


Рис. 1

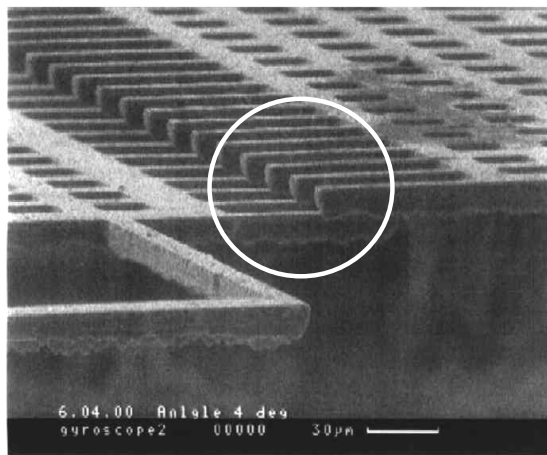


Рис. 2

закрепленная на выступах стеклянного основания. На рис. 1 изображен основной элемент кремниевой структуры – рамка с чувствительными массами. Однако при создании таких структур было обнаружено, что при длине консоли порядка 1 мм тонкая кремниевая структура изгибается и зубья электростатического привода выходят из плоскости статора примерно на 10 мкм (рис. 2). Эксперименты показали также, что деформация одинакова как в приваренных к

стеклянному основанию структурах, так и в свободных образцах вибраторов. Таким образом, причину деформации нельзя считать связанной с различием коэффициентов линейного температурного расширения кремния и стекла. Причиной изгиба следует считать эффект Тваймана, связанный с неодинаковой предысторией изготовления/обработки двух поверхностей: исходная полировка планарной поверхности и глубинное травление обратной стороны кремниевой пластины при удалении балластного кремния. Устранить эти причины технологическими способами крайне затруднительно, поэтому было предложено изменить топологию структуры (рис. 3) с требованием сохранения основных механических параметров – резонансных частот и форм колебаний. Таким образом, целью данного исследования являлось сравнение исходной конструкции и новой (улучшенной) конструкции виброгирокопа.

Приведем габаритные размеры кремниевой пластины: исходная конструкция – 3.14x1.6x0.015 мм (рис. 1), новая конструкция – 2.76x2.26x0.015 мм (рис. 3). Все расчетные исследования выполнены с помощью программной системы конечно-элементного (КЭ) анализа ANSYS 5.5. Пространственная КЭ модель исходной конструкции содержит 3978 20-узловых элементов (92001 степень свободы), новой конструкции – 3060 20-узловых элементов (70110 степеней свободы). В силу симметрии при расчетах рассматривались 1/4 части конструкции.

Для сравнения исходной и новой конструкций было смоделировано деформированное состояние, в котором максимальный прогиб в исходной модели составил 10.7 мкм (рис. 4). Это деформированное состояние достигалось путем создания двухслойной модели с различными коэффициентами линейного температурного расширения для каждого слоя: $\alpha_1 = 3.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_2 = 2.8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Толщина первого слоя $h_1 = 10 \text{ мкм}$, второго слоя – $h_2 = 5 \text{ мкм}$. При этом конструкция остывала с

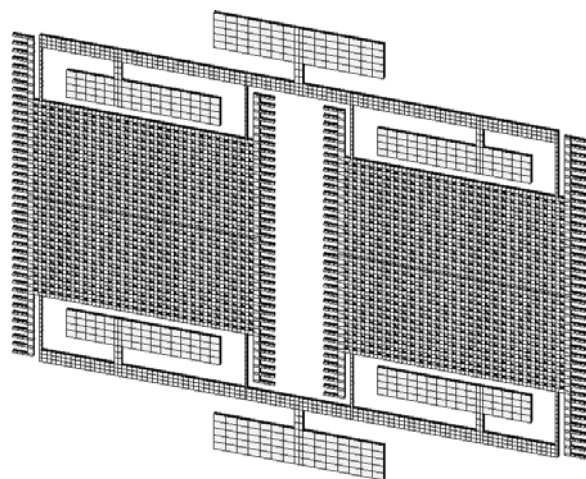


Рис. 3

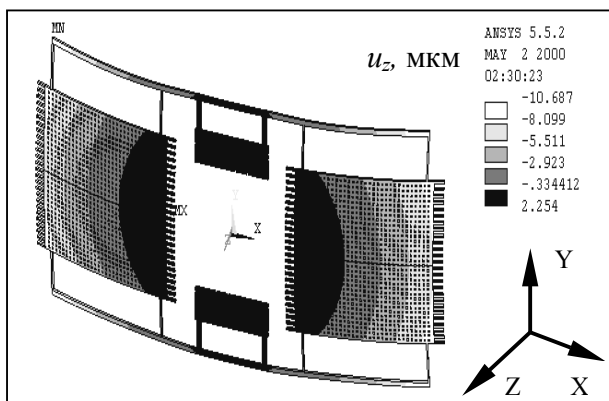


Рис. 4

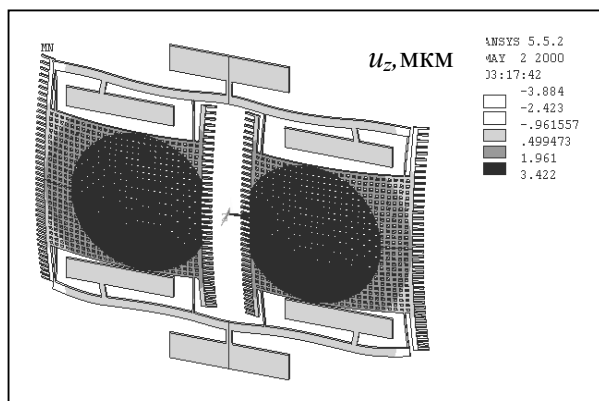


Рис. 5

270°C до 0°C. В результате расчета получено, что максимальный прогиб в новой конструкции составил 3.5 мкм (рис. 5), что в 2.7 раза меньше по сравнению с прогибом в исходной конструкции. Этот результат свидетельствует о достижении цели данного исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Разработка и исследование микромеханического гироскопа / А. М. Лестев, И. В. Попова, Е. Н. Пятыхев и др. // Гироскопия и навигация. – 1999. – № 2 (25). – с. 3-10.