

В работе исследуются собственные колебания микромеханического гироскопа (ММГ) роторного типа, используемого в современных инерциальных навигационных системах в качестве измерителя угловой скорости.

Чувствительный элемент (осциллятор) роторного ММГ представлен на рис. 1, где белым цветом показана площадка крепления осциллятора к стеклянному основанию. В качестве конструкционного материала используется монокристаллический кремний, относящийся к кристаллам с кубической симметрией. Упругие свойства таких кристаллов в системе координат, определяемой кристаллографическими осями, описываются тремя независимыми модулями упругости. Чувствительный элемент ММГ изготавливается с помощью групповых методов на основе технологии микроэлектромеханических систем (кремниевой технологии).

На основе геометрической модели (рис. 1) построена пространственная конечно-элементная модель осциллятора, содержащая 3328 20-узловых элементов (88416 степеней свободы).

Расчет собственных частот и форм колебаний чувствительного элемента проводился для определения рабочих режимов ММГ. На рис. 2, 3 показаны две первые собственные формы колебаний, соответствующие рабочему режиму датчика.

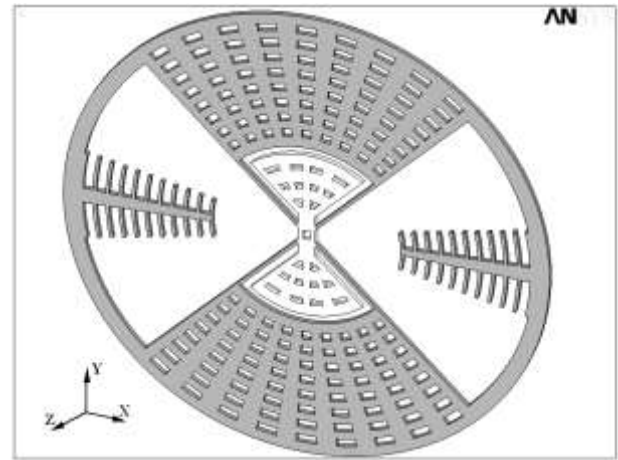


Рис. 1

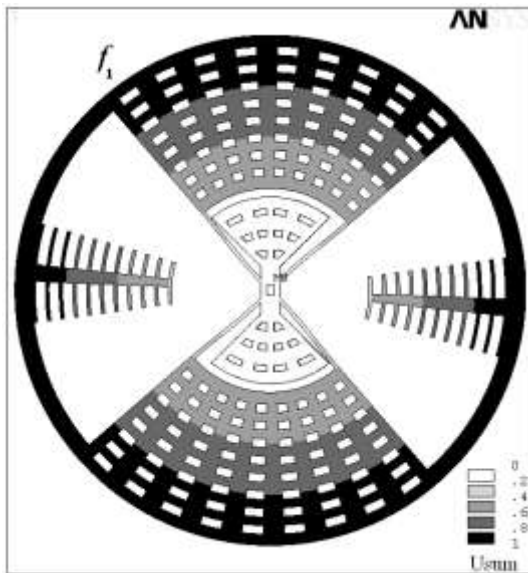


Рис. 2

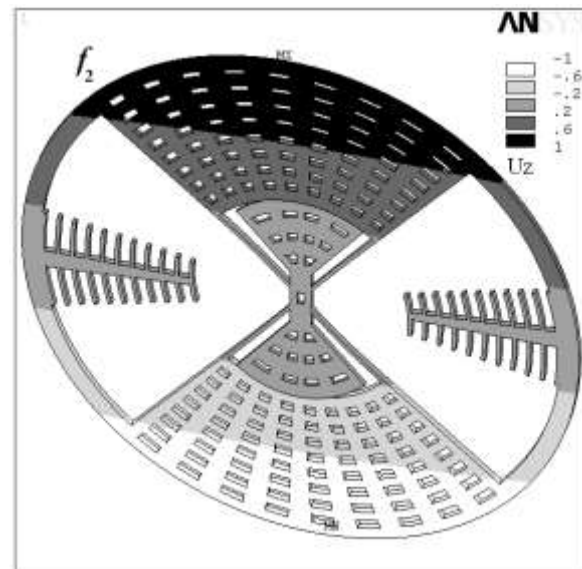


Рис. 3

На следующей стадии исследования собственных колебаний чувствительного элемента рассматривалось влияние напряженно-деформированного состояния, возникающего при различных температурных режимах ММГ, на спектр собственных частот. В ходе решения этой задачи была построена конечно-элементная модель осциллятора, учитывающая технологические ("невертикальность" стенок осциллятора при изготовлении) и температурные факторы.

Учет температурных факторов включает в себя моделирование стеклянного основания, электротермокомпрессионную сварку кремния со стеклом при температуре $T = 450^{\circ}\text{C}$, а также температуру рабочего режима. На рис. 4 изображено поле относительных суммарных переме-

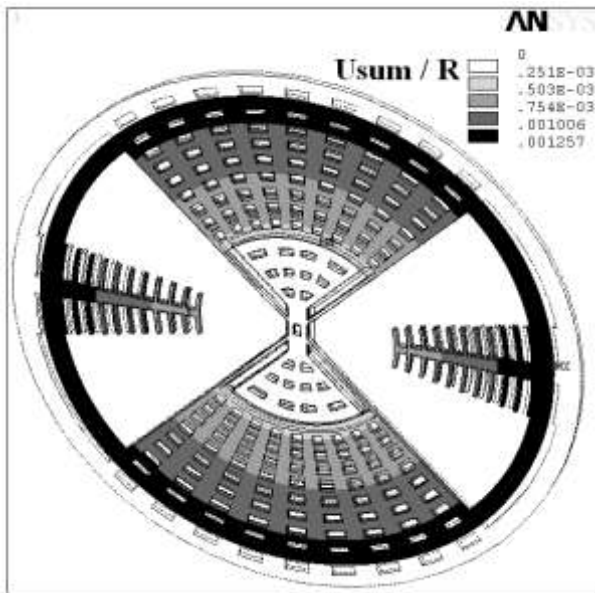


Рис. 4

щений U_{sum}/R (R – радиус кремниевой пластины, $R \sim 10^3$ мкм), возникающее после сварки кремния со стеклом и остывания до температуры $T = 20^\circ\text{C}$. Деформированное состояние показано на фоне исходного (недеформированного).

Результаты расчета собственных частот в зависимости от предварительного напряженно-деформированного состояния представлены в таблице 1. На основании результатов таблицы можно заключить, что технологические и температурные факторы оказывают несущественное влияние на значения рабочих собственных частот.

Сравнительный анализ представленной схемы чувствительного элемента ММГ с другими конструкциями осцилляторов позволяет сделать вывод, что при использовании ММГ роторного типа следует ожидать более стабильной и надежной работы всей инерциальной системы управления в целом.

Таблица 1

	без учета напряженно-деформированного состояния	с учетом напряженно-деформированного состояния ($T = 20^\circ\text{C}$)
1-ая собственная частота	f_1	$0.994 * f_1$
2-ая собственная частота	f_2	$0.995 * f_2$