

Рисунок 2 – Регистрация плазмон-поляритона с помощью наблюдения дифракции на торце волноводной структуры

#### Список использованных источников

1. Knyazev, B. A. Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements / B.A. Knyazev, G.N. Kulipanov, N.A. Vinokurov // Measur. Sci. Techn. – 2010. – Vol. 21. – P. 13.
2. Агафонов, А.Н. Кремниевые дифракционные оптические элементы для мощного монохроматического терагерцового излучения /А. Н. Агафонов, Б. О. Володкин, А. К. Кавеев, Б. А. Князев, Г. И. Кропотов, В. С. Павельев, В. А. Сойфер, К. Н. Тукмаков, Е. В. Цыганкова, Ю. Ю. Чопорова // Автотриетрия. – 2013. –Т. 49, №2. –С. 98-105.
3. Agafonov A.N. Control of transverse mode spectrum of Novosibirsk free electron laser radiation // A.N. Agafonov, Yu.Yu. Choporova, A.V. Kaveev, B.A. Knyazev, G.I. Kropotov, V.S. Pavelyev, K.N. Tukmakov, B.O. Volodkin, /Applied Optics. – 2015 – Vol. 54, N. 12 – 3635-3639.
4. Knyazev B.A. Generation of Terahertz Surface Plasmon Polaritons Using Nondiffractive Bessel Beams with Orbital Angular Momentum// Yu.Yu. Choporova, M.S. Mitkov, V.S. Pavelyev, B.O. Volodkin, /Phys. Rev. Lett.-2015-Vol 115 -163901.

УДК 53.087

### **РАЗРАБОТКА, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНО-РАЗДЕЛЕННОГО ГИРОСКОПА В МЭМС-ИСПОЛНЕНИИ**

Пайал Верма\*, В.С. Павельев, Б.О. Володкин, К.Н. Тукмаков, А.С. Решетников, Т.В. Андреева, С.А. Фомченков, С.Н. Хонина  
\*E-mail: [payalsedha@gmail.com](mailto:payalsedha@gmail.com),

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва»

Виброгироскопы в МЭМС-исполнении состоят из двух ортогональных компонент акселерометров с одной общей эталонной массой или

несколькими массами. Действие таких гироскопов основано на принципе передачи энергии от электродов возбуждения колебаний к электродам съема информации из-за ускорения Кориолиса, в случае присутствия угловой скорости [1]. С развитием МЭМС технологий были предложены и реализованы различные реализации гироскопов. В зависимости от приложения, гироскопы в микросистемном исполнении могут быть классифицированы на скоростные гироскопы, инерциальные гироскопы и тактические гироскопы. Значительное количество публикаций посвящено проблемам скоростных гироскопов в силу широкой области их коммерческих приложений. Для изготовления таких устройств применяются такие технологии как поверхностная механическая микрообработка, объемная механическая микрообработка и технологии, основанные на процессе LIGA [3]. Однако, инерциальные и тактические гироскопы достаточно сложны для изготовления, так как они являются высококачественными устройствами и, следовательно, к ним предъявляются жесткие требования. Появившиеся альтернативные технологические процессы использовались вместо известных технологий с целью удовлетворить возросшим техническим требованиям. Одним из прорывов в технологии изготовления МЭМС явилась разработка процесса DRIE, что позволило получать структуры с высокоаспектным соотношением с практически вертикальными стенками. Достоинства технологии DRIE полностью реализуются в случае использовании подложек “кремний-на-изоляторе”. Подложки “кремний-на-изоляторе” обладают постоянной толщиной кремниевого слоя и очень высокой толерантностью. Далее, в силу высокой селективности между кремнием и диоксидом кремния в большинстве установок DRIE, момент прекращения травления хорошо определяется. Для реализации конечной микроструктуры применяются различные “мокрые” и “сухие” технологии.

Таким образом, SOI-процесс совмещает достоинства технологии DRIE и подложек “кремний-на-изоляторе” для получения сложных структур с высокой точностью. В данной работе мы представляем результаты изготовления двухосевого гироскопа с помощью этого процесса на подложке “кремний-на-изоляторе”. На рис.1 показана 3D-модель двухосевого разделенного гироскопа.

Анкеры расположены на внешней границе устройства и соединены с подвижными электродами возбуждения колебаний и электродами съема информации с помощью подвесных балок. Устройство содержит всего 16 подвесных балок, 8 балок в направлении возбуждения колебаний (x-направлении) и 8 балок в направлении съема информации (y-направлении). Подвесные балки спроектированы таким образом, что системы возбуждения и съема информации разделены и их резонансные частоты разнесены для достижения частотного диапазона 150 Гц. Такая конструкция позволяет минимизировать эффект перекрестной связи.

Конструкция включает в себя два набора стационарных гребенок, один набор – для возбуждения колебаний и другой – для съема информации. Конструкция включает отверстия, необходимые для использования жертвенного слоя при травлении.

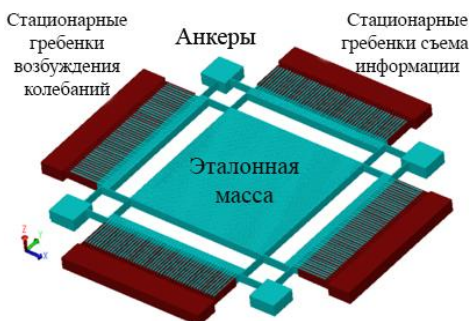


Рисунок 1 – Разработанная модель двухосевого виброгирокопа

Для реализации разработанной конструкции предложена технология изготовления, основанная на применении двухмаскового процесса на подложке “кремния-на-изоляторе” с 15 мкм слоем кремния, 4 мкм слоем оксида и 675 мкм несущим слоем. Разработанный процесс включает небольшое количество этапов: это реализация металлических соединений и реализация эталонной массы со стационарными электродами с последующим удалением жертвенного слоя. Наиболее важный этап – глубокое реактивно-ионное травление структурируемой подложки (DRIE). Параметры процесса DRIE выбирались, исходя из необходимости формирования структуры с аспектным соотношением 1:5 с практически вертикальными стенками.

Структура, включающая эталонную массу, подвижные и стационарные гребенки, реализованы с помощью технологии DRIE с аспектным соотношением 1:5. Результаты микроскопии после DRIE представлены на Рис. 2 а-в, демонстрирующие гребенчатые структуры и отверстия в эталонной массе. Измеренный угол составил около 91.2 градусов (Рис. 2с).

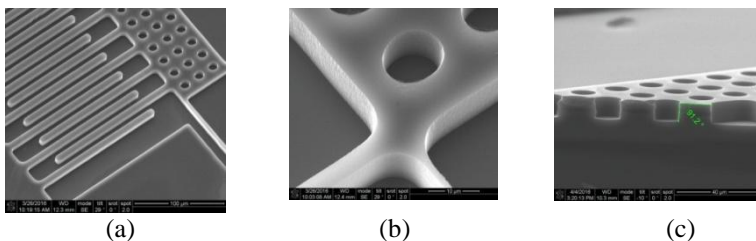


Рисунок 2 – Результаты травления

#### Список использованных источников

1 Yazdi N, Ayazi F and Najafi K (1998), "Micromachined inertial sensors," In: Proceedings of the IEEE 1998; 86: 1640-1659.

2 Alper SE. MEMS gyroscopes for tactical-grade inertial measurement applications. Ph.D. dissertation, 2005: Middle East Technical University, Turkey.

3 Verma P, Shekhar C, Arya SK, Gopal R. New design architecture of a 3-DOF vibratory gyroscope with robust drive operation mode and implementation. Microsystem Technologies 2015; 21(8): 1275-1285.

УДК 53.087

### **КОНТРОЛИРУЕМОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ГАЗОВОГО СЕНСОРА NO<sub>2</sub>**

П.Мишра, В.С.Павельев, И.А.Платонов, А.С.Москаленко, М.А.Щербак  
г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва»

Существенным недостатком изготовления чувствительных устройств на нанотрубках на данный момент является невозможность достижения точной локализации нанотрубок на поверхности подложки, что приводит к снижению эффективности работы датчиков. В статье демонстрируется селективное и контролируемое формирование цепочек из одностенных нанотрубок с использованием инновационной техники диэлектродиффузии углеродных нанотрубок.

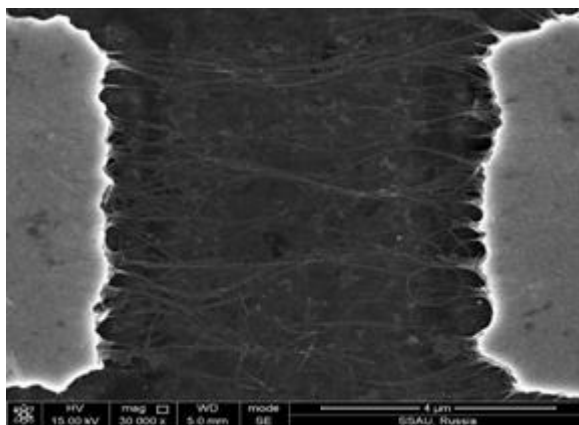


Рисунок 1 – Результат электронной микроскопии электродов датчика с нанесенными нанотрубками после проведения процесса диэлектродиффузии углеродных нанотрубок.