

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА, ГЕНЕРИРУЕМОГО ПРИ ГОРЕНИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

С.К. Лазарук, А.В. Долбик, В.Б. Высоцкий, В.А. Лабунов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск

тел: (37517) 293-8869, факс: (37517) 293-8869, эл. почта: serg@nano.bsuir.edu.by

Миниатюрные двигатели с реактивной тягой используются в микроэлектромеханических системах (МЭМС) последние 15 лет для передвижения микро-, нано- и пико- спутников. Эти небольшие спутники требуют эффективных двигательных установок для их маневрирования на космической орбите. Разработка таких МЭМС проводится по двум направлениям: миниатюризация обычных двигателей и поиск новых твердотельных энергетических материалов и концепций их использования в микродвигателях [1]. Одним из решений вышеупомянутой проблемы является использование нанопористого кремния в качестве энергетического материала.

Нанопористый кремний, как правило, формируется путем анодирования кремниевой пластины в процессе электрохимического травления [2] и становится энергетическим материалом, если его поры заполняются окислителем [3]. Нанопористый кремний, контактирующий с находящимся в его порах твердотельным окислителем, способен гореть и даже взрываться [4].

В данной работе мы представляем результаты измерений механического импульса при горении нанопористого кремния внутри кремниевых чипов, закрепленных на металлических платформах различной массы.

Кремниевые пластины р-типа, легированные бором с проводимостью 10 Ом см, использовались для изготовления пористого кремния путем электрохимического анодирования в электролите на основе водного раствора плавиковой кислоты и этанола (2 части 48 % HF по 1 часть этанола) при плотности тока 50 мА/см². Область анодирования определялась O-образной маской с внутренним диаметром 10 мм. Время анодирования варьировалось для получения пористых слоев толщиной 40 и 70 мкм. После этого образцы промывали в этаноле, высушивали и пропитывали насыщенным спиртовым раствором NaClO₄.

Для определения величины механического импульса, создаваемого при горении пористого кремния, использовали систему, состоящую из кремниевых чипов и несущей платформы (круглой металлической пластины), соединенных с помощью клея. Иницирование процессов горения и взрыва слоев пористого кремния осуществлялось путем помещения образцов на плитку, нагретую до 500°C (рис. 1). После иницирования процессов горения и взрыва реактивная сила поднимала исследуемую систему вверх.

На рис. 2 показана фотография в момент вертикального перемещения несущей платформы после иницирования процесса горения. Траекторию движения можно увидеть благодаря процессу дефлаграции в пористом кремнии после взрыва. Учитывая массу испытываемых образцов, мы рассчитали механический импульс системы с реактивной тягой для различных толщин пористого кремния (рис. 3). Исследуемые образцы смогли продемонстрировать механический импульс до 130 мН·с. Увеличение импульса для более высоких значений массы несущей платформы может быть объяснено изменениями условий распространения ударной волны в исследуемых образцах [5].

Исследуемые микросистемы могут быть использованы в качестве матричных микродвигателей, закрепленных на корпусе космических спутников малых разме-

ров. Коррекция их орбиты может осуществляться инициированием процесса горения в отдельных чипах посредством подачи электрического импульса к пористому кремнию, пропитанному твердотельным окислителем.



Рис. 1 – Схематическое изображение экспериментальной установки



Рис. 2 – Фотография траектории движения экспериментального образца (первый кадр после инициирования горения)



Рис. 3 Зависимость импульса от массы несущей платформы с пористым кремнием толщиной 40 и 70 мкм

Проведенные исследования показали, что механический импульс, возникающий при горении пористого кремния, увеличивается при увеличении толщины пористого кремния и массы несущей платформы. Полученные значения импульса 25–130 мН·с свидетельствуют о перспективности использования нанопористого кремния в качестве источника энергии в МЭМС.

Литература

- [1] Zakar E. *Technology Challenges in Solid Energetic Materials for Micro Propulsion Applications* (U.S. Army Research Laboratory) 18 p. (2009)
- [2] L.T. Canham *Properties of Porous Silicon* (INSPEC, London) p. 416 (1997)
- [3] D. Clement, J. Diener, E. Gross, N. Künzner, V. Yu. Timoshenko, D. Kovalev *Phys. Stat. Sol. (A)* **202** 1357 (2005)
- [4] Monuko du Plessis *Propellants Explos. Pyrotech.* **39** 348 (2014)
- [5] А.В. Долбик, А.Ю. Зубов, С.Н. Крисевич, А.С. Сычевич, А.В. Короткевич, С.К. Лазарук, В.А. Лабуннов *Доклады БГУИР* №6 **92** с. 90 (2015)