

МИКРОАКТЮАТОРЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ЭНЕРГИЮ ГОРЕНИЯ НАНОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сычевич А.С.

Лазарук С.К., д-р физ.-мат. наук, проф., БГУИР

Горение нанопористого кремния с межпоровым пространством, заполненным твердотельным окислителем, исследовалось с целью его использования в качестве источника энергии в микроэлектромеханических системах (МЭМС). Исследования показали, что в микросистемах с кремниевым чипом площадью $1,2 \text{ см}^2$ может быть получен импульс $170 \text{ мН}\cdot\text{с}$ за счет применения структуры состоящей из двух кристаллов кремниевых пластин.

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

Морфологию пористого кремния контролировали путем выбора состава электролита, плотности тока и типа легирующей примеси. Особое внимание уделили пористым структурам, получаемым на основе кремниевых пластин р-типа. С удельным сопротивлением кремния $10 \text{ МОм}\cdot\text{см}$. Так как на данных пластинах образуются нанопоры от 2 до 5 нм [1]. Анодирование проводили в 33% растворе плавиковой кислоты (HF). Для получения необходимой структуры пористого кремния плотность тока варьировалась в диапазоне $50\text{-}100 \text{ мА}/\text{см}^2$. График зависимости толщины пористого слоя от времени анодирования представлен на рисунке 1.

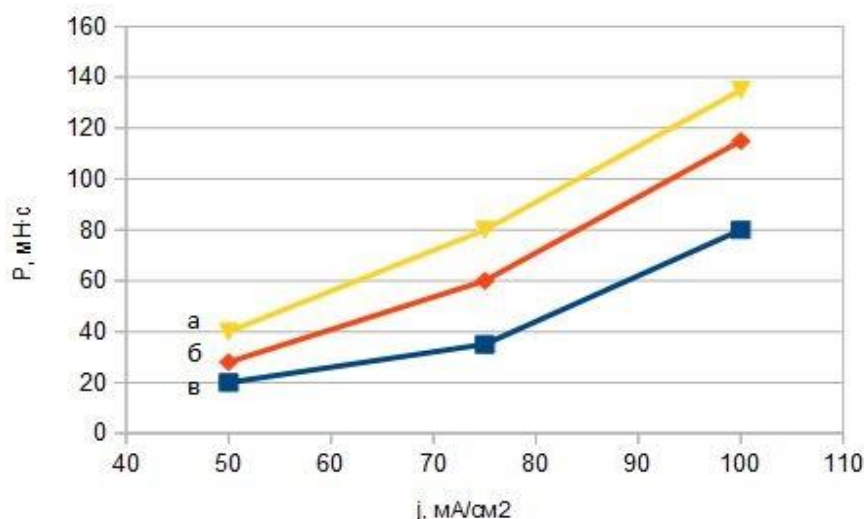


Рисунок 1 — график зависимости толщины от времени анодирования: а — $j=50 \text{ мА}/\text{см}^2$, б — $j=75 \text{ мА}/\text{см}^2$, в — $j=100 \text{ мА}/\text{см}^2$

Для достижения необходимых энергетических свойств пористость должна быть в пределах 70% [2].

Существует несколько типов окислителей инициации реакции. Наиболее эффективными являются окислители перхлората кальция и натрия, не только из-за их реакций, но и способности оставаться в порах [3]. По мере увеличения плотности тока размер пор уменьшается до $3 - 4 \text{ нм}$, что является оптимальным для применения в качестве окислителя перхлората натрия (NaClO_4).

Окислители могут быть задействованы термически, электрически, оптически. Термическое воздействие осуществляли путем нагрева образца.

При прохождении реакции инициации происходит беспорядочное выделение энергии. Скоростью реакции можно управлять по структурным модификациям. Диапазон скорости варьируется от 1 до 500 м/с [4].

Во время окисления воспламеняется поверхность Si-H связей и создаются оборванные связи Si. Атомы водорода, покрывающие пористый кремний, являются буферным слоем между Si атомом и молекулярным кислородом, который предотвращает взаимодействие кислорода с кремнием, а затем водород удаляется с поверхности с помощью экзотермической реакции. Происходит взаимодействие поверхностных атомов Si непосредственно с кислородом и окисление наноструктуры кремния. Водород вступает в реакцию с пористым слоем и окислителем с образованием Si-H и O-H.

Иницирование процессов горения слоев пористого кремния, для определения величины механического импульса, осуществляли путем помещения образцов, состоящих из кремниевых чипов и несущей платформы, соединенных с помощью клея.

Несущая платформа есть не что иное как груз, который необходимо переместить в пространстве за счет энергии горения наноструктурированного кремния. Общая масса системы составила 20 г . Готовый образец помещали на нагретую $>320 \text{ }^\circ\text{C}$ поверхность. На рисунке 3 можно увидеть наглядный пример перемещения образца.



Рисунок 3 — перемещение образца после инициации реакции горения

Импульс оценивался по формуле:

$$P = \sqrt{2gh}$$

Из рисунка 4 можно увидеть, что значения импульса увеличиваются с увеличением толщины пористого слоя, так как более толстые слои пористого кремния выделяют большее количество энергии экзотермической реакции окисления, которая преобразуется в механическую энергию движения.

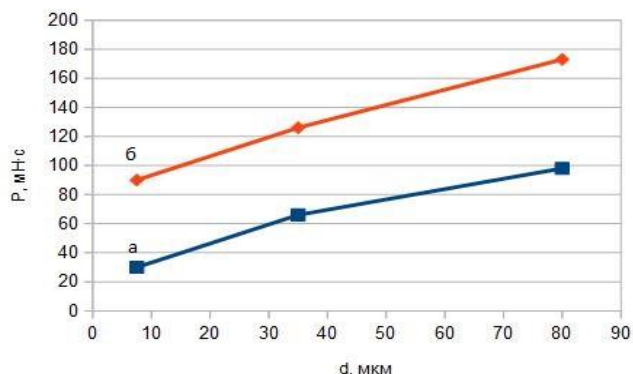


Рисунок 4 – график зависимости импульса от толщины пористого слоя: а — одинарный образец, б — образец состоящий из двух кристаллов кремниевых пластин

На основе энергетических свойств пористого кремния могут быть разработаны разнообразные приборы: МЭМС (микроэлектромеханические системы) для управления ориентацией спутников в области космической техники; микроактюаторы для пиротехнические инъекции в медицине, комплексное средство самоуничтожения микросхем, жестких дисков, CD, DVD в полупроводниковой и компьютерной технике, воспламенитель для подушек безопасности и систем натяжения ремней безопасности в автомобильной промышленности [5].

Список использованных источников:

[1] Nguyen, V.C. Giant and Tunable Mechanical Impulse of Energetic Nanocrystalline Porous Silicon / Pita K., Kam C.H. et al. - Journal of propulsion and power. 2015. Vol. 31, №2. – P. 694-698.
 [2] du Plessis, M. A decade of porous silicon as nano-explosive material. Propellants Explos. Pyrotech. 2014. 39(3), 348-364.
 [3] Becker, C. Characterization and improvements to porous silicon processing for nanoenergetics / C. Becker - Army Research Laboratory Report ARL-TR-4717, US Army Research Laboratory, Adelphi, MD. 2009
 [4] Becker, C.R. Thermal analysis of the exothermic reaction between galvanic porous silicon and sodium perchlorate / C.R. Becker, L.J. Currano, W.A. Churaman and Stoldt – Appl. Mater. Interfaces 2(11), 2998-3003.
 [5] Völlmeke, S. Poröses Silizium - Basiswerkstoff für pyrotechnische Bauelemente / S. Völlmeke - 51 internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau September 11-15, 2006.