

# ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЭМС-ДАТЧИКОВ

И.Бармашов [ibarmashov@sovtest.ru](mailto:ibarmashov@sovtest.ru)

МЭМС – это микроэлектромеханические системы, выполненные, как правило, на одном кристалле и представляющие собой сочетание механических и электронных полупроводниковых структур. По технологиям МЭМС изготавливают широкий спектр микроустройств – датчики движения (акселерометры, гироскопы и др.), давления, микрогенераторы, зеркала, микрофоны и т.д. Благодаря разнообразной конструкции и назначению МЭМС стремительно входят в нашу повседневную жизнь и сегодня их широко используют в сотовых телефонах, фото- и видеокамерах, ноутбуках, автомобилях и в других изделиях, список которых постоянно расширяется. – это множество микроустройств, В производстве МЭМС применяются модифицированные технологические процессы микроэлектроники.

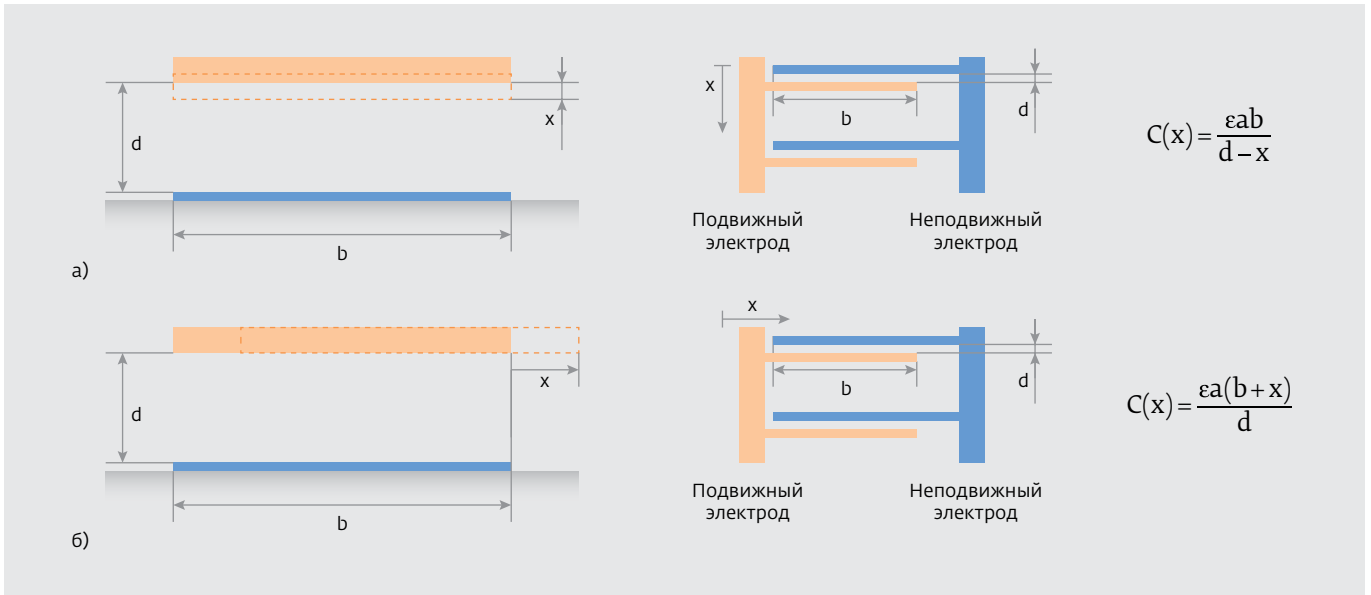
## КОНСТРУКЦИЯ МЭМС-ДАТЧИКА

Основные физические принципы формирования выходного сигнала датчиков ускорения, а также других инерциальных датчиков (гироскопов, инклинометров, датчиков вибрации) – пьезорезистивный и емкостной. В первом случае в местах максимальной концентрации механических напряжений ионной имплантацией или осаждением создаются области, в которых при изменении деформации меняется сопротивление (пьезорезистивный эффект). Второй емкостной метод не требует дополнительных технологических операций. Он основан на эффекте изменения емкости конденсатора при изменении конфигурации его электродов. Другие физические эффекты – электромагнитные, магнитные, конвекционные,

магнитостриктивные и т.д. – применяются в современных микросистемах редко [1, 2].

Величина емкости конденсатора зависит от расстояния между обкладками и от их площади (рис.1). В современных датчиках для увеличения изменения емкости ( $dC/dx$ ) в обоях случаях используют гребенчатую структуру. Значение  $dC/dx$  при одинаковом перемещении (независимо от механизма изменения емкости) тем больше, чем больше толщина структуры (параметр  $a$ , см. рис.1). При прочих равных условиях желательно, чтобы зазор между подвижными электродами был маленький. Это дает большее относительное изменение емкости при малых перемещениях.

Таким образом, для производства датчиков, работающих на емкостном принципе,



**Рис.1.** Основные механизмы изменения емкости: изменение зазора (а); изменение площади перекрытия (б)

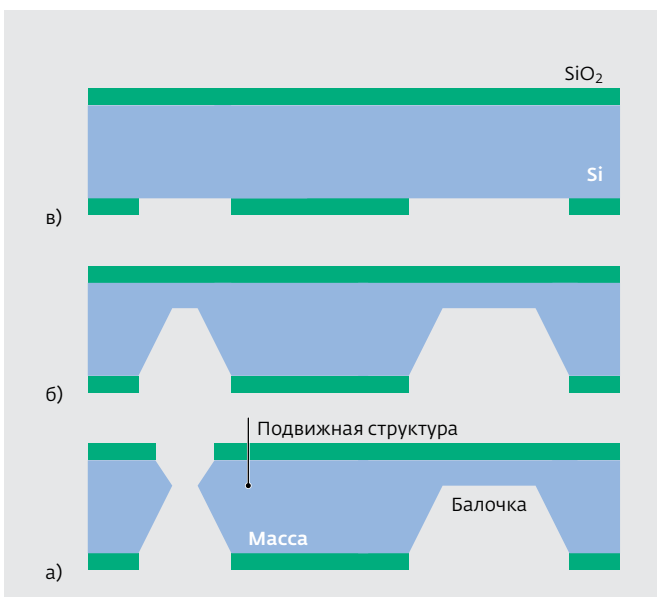
необходима технология, с помощью которой можно создавать объемные структуры с наибольшей толщиной и минимальным зазором между подвижными и неподвижными частями датчика. Для этих целей подходит плазмохимическое травление.

**ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ**

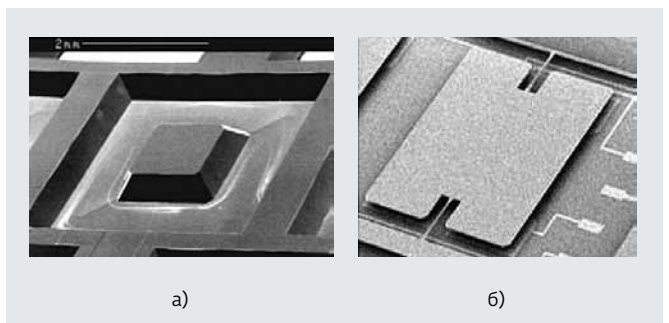
Наиболее распространенным для получения различных структур долгое время был метод

жидкостного травления (рис.2, 3). Он сочетает высокую скорость травления с возможностью контролировать процесс, изменяя температуру и концентрацию травящего раствора. Используется простое оборудование и дешевые материалы для травления, не требуется высококвалифицированный персонал. Он малочувствителен к небольшим дефектам на поверхности.

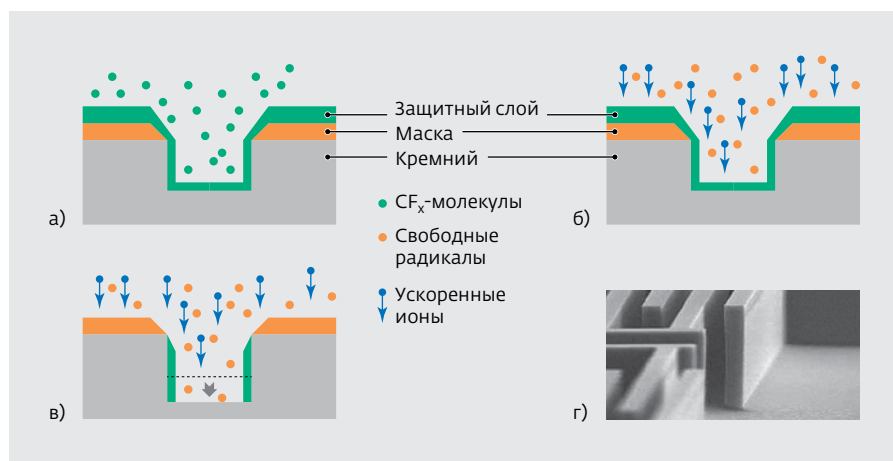
Однако метод плазмохимического травления имеет недостатки, затрудняющие производство современных датчиков: требуется большая площадь на кристалле; трудно получить элементы структуры размером менее 10 мкм (ограничение связано с подтравливанием маски); подходит не для всех материалов; есть проблемы с контролем глубины травления.



**Рис.2.** Жидкостное травление как метод создания микросистем (а, б, в – последовательность процесса)



**Рис.3.** Датчик давления (а) и микрозеркало (б), полученные методом жидкостного травления (источник – Хемницкий технический университет)



**Рис.4.** Плазмохимическое травление, как метод создания микросистем (а–в); гребенчатый электрод, созданный с помощью этой технологии (г, источник – [www.microfab.de](http://www.microfab.de))

**Рис.5.** Установка плазмохимического травления MPS1400

Как альтернативу старой технологии для создания современных МЭМС-датчиков можно использовать плазмохимическое травление. Преимущества этого метода:

- минимальные размеры структуры могут быть 2 мкм, а зазоры между электродами – до 1 мкм;
- полная независимость от ориентации кристалла;
- глубокое травление с большим аспектным отношением ширины структуры к ее толщине. Метод плазмохимического травления дает высокое качество микроэлектронных структур, однако он имеет следующие недостатки:
- необходимы дорогое оборудование и высококвалифицированный персонал;
- повышенные требования к чистоте процесса;
- многооперационный метод, медленный и требует отладки процесса.

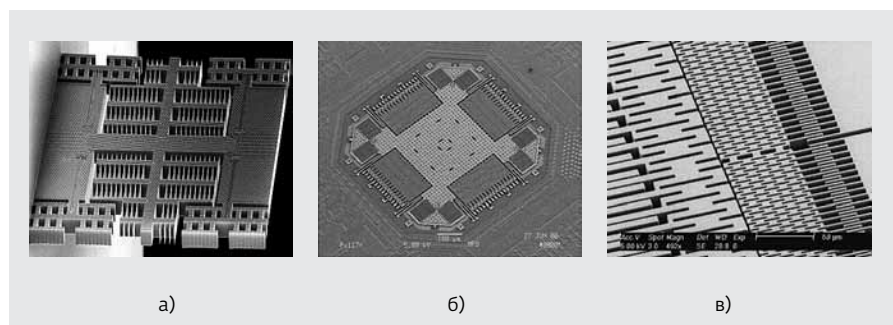
Этот метод (рис.4, 5) наиболее подходит для создания микросистем сложной формы. Большинство компаний – мировых лидеров в производстве МЭМС-устройств – используют данную технологию (рис.6). Именно с применением этой технологии изготовлены МЭМС-устройства, разработанные ООО "Совтест АТЕ" совместно с европейскими партнерами.

В качестве другого примера можно привести двухосевой прецизионный инклинометр (датчик угла) широкого применения. Он выполнен на основе технологии МЭМС и обеспечивает высокую повторяемость и стабильность измерений. Инклинометр предназначен для измерения углов наклона объекта в диапазоне  $\pm 30^\circ$  по двум независимым осям, имеет малое значение нелинейности во всем диапазоне измерения. Он применяется при диагностике рельсового пути, для измерения крена летательного объекта или в миниатюрных системах навигации. Подтверждая статус инжиниринговой компании, ООО "Совтест АТЕ" сегодня ведет ряд других научных разработок с использованием опыта зарубежных коллег.

Подтверждая статус инжиниринговой компании, ООО "Совтест АТЕ" сегодня ведет ряд других научных разработок с использованием опыта зарубежных коллег.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. – М.: Техносфера, 2005.
2. **Ж. Аш.** Датчики измерительных систем, в 2-х томах. – М.: Мир, 1992.



**Рис.6.** Примеры датчиков ускорения, изготовленных с помощью плазмохимического травления (источники – Хемницкий технический университет (а), Motorola (б), Sumsung (в))