



УДК 621.3.049.77.002.5

## О ЗАКОНЕ МУРА ДЛЯ МЭМС

Тыныныка Александр Николаевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина

<sup>2</sup> Affiliations, Country

<sup>3</sup> Affiliations, Country

**Адрес для переписки:** Тыныныка Александр Николаевич, доцент, к.т.н., доцент

E-mail: polalek562@gmail.com

**Аннотация.** С течением времени ощущается потребность во всё большем количестве микроэлектронных механических систем не только в промышленности, но и в самых различных областях – в здравоохранении, на транспорте, в связи, для усовершенствования средств сбора и преобразования энергии, в «умных» домах и при построении системы «интеллектуальный» город, и т. д. В кратком сообщении обосновывается желательность формулирования закона, аналогичного закону Мура в микроэлектронике, для ускорения процесса удовлетворения растущих потребностей в МЭМС.

**Ключевые слова:** МЭМС, закон Мура.

**Вступление.** Закону Мура в микроэлектронике (удвоение количества транзисторов на кристалле каждые 18 месяцев без увеличения стоимости функций для конечного потребителя [1]) уже больше 50 лет. Цифры в планах-графиках ведущих полупроводниковых фирм диктовались законом экспоненциальных достижений и ускорили изменение не только уровня микроэлектронных технологий, но и существующий мир. Непосредственная и косвенная добавочная стоимость за этот период сопоставимы, по-видимому, с годовым ВВП Европейского Союза. Непрерывные инновации, изобретения и инвестиции в высокие технологии не прекращались всё это время и будут продолжаться, оказывая большое влияние на экономическое развитие и социальную сферу.

**Материалы и методы исследования.** Для того, чтобы превратить микросистемную технику из одного из наиболее развивающихся междисциплинарных научно-технических направлений в направление, развивающееся, может быть, быстрее других и определяющее новую революцию в области систем, реализуемых на микро- и наноуровне, в интересах и предпринимателей и социальной среды инициировать формулирование для МЭМС закона, аналогичного закону Мура.

Целью направления МЭМС [2] является создание в ограниченном объёме твёрдого тела или на его поверхности микросистем, представляющих собой упорядоченные композиции областей с заданным составом, структурой и геометрией, статическая и динамическая совокупность которых обеспечивает реализацию процессов генерации, пре-образования, передачи энергии и движения в интеграции с процессами восприятия, обработки, трансляции и хранения информации при выполнении запрограммированных операций и действий в требуемых условиях эксплуатации с заданными функциональными, энергетическими, временными и надёжностными показателями. Микросистемы могут обеспечивать выполнение всех или любой части из них. При этом отличительной особенностью микросистем является необходимость обеспечения длительной их эксплуатации при переносе энергии заряда, информации не только в условиях стационарного твёрдого тела, но и когда объект микросистемной техники и контактирующая с ним среда находятся во взаимной пространственно-временной динамике. Поэтому при прогнозировании достижений масштабирования следует учитывать не только ожидаемые размеры элементов, но и различные существующие технологические перспективы: повышение интеллектуальности приборов и схем, увеличение площади кристалла, использование методов монокристаллической 3D-интеграции, когда главным движущим фактором станет не постоянное уменьшение размеров транзисторов, а масштабирование плотности размещения элементов за счёт 3D-этажирования. Десятки слоёв в этажерке – уже реальность.

Работы по 3D-интеграции в качестве наиболее эффективного способа масштабирования следующих поколений микросхем и пригодных для масштабирования МЭМС ведутся во многих фирмах и исследовательских учреждениях, но самой важной частью масштабирования должна стать гетерогенная интеграция, позволяющая объединять в МЭМС разнородные (по топологиям, функциональности, используемым физическим принципам) элементы.

Таким образом, перспективность формулирования для МЭМС аналога закону Мура в целом в обозримом будущем представляется весьма целесообразным, резервы для совершенствования просматриваются большие и разнообразные. Просто стандартное размерное масштабирование, доминировавшее до сих пор в микроэлектронике, должно уступить место

повышению плотности размещения объёмных элементов и трёхмерному этажированию компонентов и учёту тенденции в сторону гетерогенной интеграции.

Ещё нужно отметить, что при формировании закона следует учесть существенное развитие и расширение такого механизма, как Интернет вещей. Интересно, что Интернет вещей (Интернет всего) не требует приборов, реализуемых по новейшим топологиям, а значит, будет способствовать увеличению продаж устройств, выполненных по МЭМС-технологиям. Тем более, что электроника уходит в эру пост-ПК, когда всё более значительная часть продаж не ориентирована на вычислительную технику, а большие объёмы продаж интегральных схем приходятся на средства связи и потребительскую электронику.

**Результаты исследования.** Разработка и признание научно-производственной общественностью обсуждаемого закона способствовали бы ускорению насыщения микросистемами растущих потребностей промышленности, оборонной и социальной сфер. Формулирование закона требует учёта факторов масштабирования, отражающих влияние геометрических размеров на свойства материалов, а также особенностей их интеграции в едином объёме с позиций кристаллохимической, термомеханической, электромагнитной совместимостей, тепловой, электрической, механической стойкости, устойчивости к воздействию агрессивных сред и радиации, а также временной стабильности.

Наличие мобилизующего и направляющего документа вдохнёт в производителей веру в отдачу от дополнительных инвестиций на НИОКР и подтолкнёт к ещё более быстрой разработке и выпуску микросистемной техники в форме МЭМС нового поколения с учётом её особенностей:

- активного использования третьего измерения (3D-системы);
- интеграции электрических и оптических связей с механическими;
- интеграции физико-химических и технологических базисов микро- и биотехнологии;
- интеграции исполнительно-технических и контрольно-диагностических процедур в микрообъёмах и на поверхности твёрдого тела.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. International Technology Roadmap for Semiconductors. – <http://public.itrs.net>.
2. Климов Д. М. и др. Перспективы развития микросистемной техники в XXI веке / Микросистемная техника, 1999, №1. – С. 3-6.