

# НАНОТЕХНОЛОГИИ

## В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ПЬЕЗОТЕХНИКИ

**Р**азвитие нанотехнологий носит межотраслевой характер, поэтому обеспечивающий сбалансированное развитие исследований и производства обмен информацией о достижениях и перспективных направлениях в нанотехнике, наноматериалах, наноэлектронике, нанометрологии чрезвычайно важен. Безусловно, каждая отрасль (например, электроника и ее подотрасль – пьезоэлектроника) имеет свою специфику, которая отражается в построении конкретных стандартов, технологических процессов, в средствах измерений, конструктивном исполнении деталей изделий и т.д., однако развитие техники и технологии, особенно на наноуровнях, требует международной стандартизации, которая и осуществляется в рамках Международной электротехнической комиссии МЭК – ТК 49.

Созданное в ноябре 2005 года ИСО ТК 229 среди первоочередных задач выделило стандартизацию терминов и определений метрологических средств и методов испытаний, стандартных параметров и типовой испытательной аппаратуры, устройств и методов калибровки измерительных срезов, метрологическое обеспечение технологических процессов.

Решение этих проблем должно обеспечить развитие нанотехнологий и их практическое использование в различных отраслях науки, производства и потребления.

Необходимым условием развития современной пьезотехники является создание новых видов оборудования и технологических процессов, начиная с совершенствования методов выращивания пьезоэлектрических монокристаллов и заканчивая внедрением новых микроминиатурных изделий.

Следующим этапом за созданием технологических и метрологических средств должны стать стандартизация и тесно связанная с ней сертификация. Кроме того, к числу важных задач относится стандартизация требований к изделиям пьезонанотехники. Этими проблемами и занимается МЭК – ТК 49.

В сфере метрологии для создания высококачественных изделий пьезотехники необходимо иметь:

- эталоны физических величин и установок, а также стандартных составов образцов;
- аттестованные или стандартизованные методики измерений физико-химических параметров и свойств изделий, методики калибровки (проверки) приборов для осуществления качественного контроля техпроцессов и материалов.

Эксперты отмечают, что именно недостаточный уровень развития метрологии в технологии микроэлектроники стал одной из причин существенного отставанию России в данной области. Успехи в развитии теории и производства изделий пьезоэлектроники в значительной мере будут определяться возможностью адаптации для этих целей современных достижений в сфере нанотехнологий. По мнению экспертов, внедрение нанотехнологий – единственный путь многократного уменьшения размеров и веса пьезоэлектрических устройств и компонентов, снижения их себестоимости, совершенствования стандартизуемых параметров и эксплуатационных характеристик.

Достижения последних лет в области микроэлектроники и четко прослеживаемый переход кnanoшкале позволили не только существенно сократить размеры и вес разработанных изделий и комплексов, но и значительно повысить их надеж-

ность, устойчивость к внешним воздействиям, увеличить объемы и рентабельность производства.

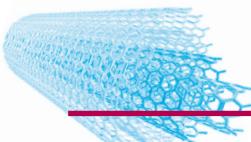
По прогнозам специалистов, в производстве пьезотехники (резонаторы, микрогенераторы, фильтры и генераторы на объемных акустических волнах (ОАВ), датчики различных физических воздействий и химических процессов) использование нанотехнологий позволит не только многократно уменьшить габариты и вес изделий, но и значительно улучшить их основные параметры и стойкость к внешним воздействиям. При этом за счет использования разработанного и выпускаемого в России современного нанооборудования значительно сократится продолжительность технологических циклов, повышается качество и надежность изделий, их конкурентоспособность. Увеличится объем выпускаемой продукции, в том числе для нужд оборононой техники, криптографии, телевидения, автомобильной и медицинской электроники, связной и измерительной техники, приборов контроля экологических параметров и т.д.

Уже сегодня широко востребованы наноматериалы и нанотехнологии в процессах выращивания высокочистых модификаций пьезоэлектрических монокристаллов кварца, лангасита, лангатата, tantalата, ниобата лития и других соединений. Высокая добротность, низкая концентрация примесей, меха-

ническая прочность, отсутствие включений и другие важные физические и химические свойства обеспечиваются использованием современных способов подготовки высокочистой шихты, прецизионных режимов выращивания кристаллов и приготовления ростовых растворов.

Вместе с тем, повышение требований к уровню воспроизведимости технологических режимов, оборудованию, химической чистоте используемых материалов приводят к значительному удорожанию получаемых монокристаллов. Однако, как отмечают эксперты, их высокое качество с лихвой компенсирует эти затраты и по соотношению цена – качество делает получаемые изделия более конкурентоспособными.

Нанотехнологии, используемые для создания и обработки кристаллических деталей микроминиатурных изделий пьезоэлектроники на ОАВ, разрабатываются и совершенствуются на базе отечественных образцов электронного оборудования. В частности, по мнению авторов, перспективным направлением применения нанотехнологий в пьезотехнике следует считать технологию лазерной обработки контура кристаллических элементов. Особенно перспективно применение этого метода для изготовления низкочастотных резонаторов, работающих, например, на продольной моде колебаний. В этом



случае резонансная частота колебательной системы определяется геометрическими размерами кристаллической пластины. Используемые в настоящее время методы формирования контура пластин путем его шлифовки позволяют изготавливать пластины с точность порядка  $\pm 20$  мкм. Применение лазерного метода позволит существенно повысить точность изготовления кристаллических элементов и, следовательно, снизить трудоемкость операции настройки резонаторов. Следует также отметить, что применение лазерного метода обработки контура позволяет создавать изделия сложной геометрической формы, что открывает перспективы для разработки новых конструкций пьезоэлектрических изделий.

Для достижения требуемой точности геометрических размеров элемента необходимо обеспечить незначительную ширину реза и минимальную зону разрушения в результате термического воздействия. Наиболее оптимальным для этих целей является режим прямой лазерной резки, в котором вынос материала из зоны реза осуществляется в результате лазерной абляции поверхности обрабатываемого материала.

При изготовлении кристаллических элементов в форме обратной меза-структуры (ОМС) на основную частоту 300 МГц их толщина формируется с точностью не ниже 100 нм, а толщина напыляемых серебряных электродов (~100 нм) с точностью не ниже  $\pm 1$  нм. Такие точности обеспечиваются при

использовании установок ионно-плазменного травления и магнетронного напыления. Формирование кристаллического элемента проводится с применением напарировки (ионно-плазменная либо жидкостная химическая полировка). Формирование электродов осуществляется посредством нанесения на кристаллические элементы эпитаксиальных структур.

Для оценки влияния технологий нанесения электродных покрытий на кристаллические элементы следует тщательно изучать взаимодействие образующих кластеры наночастиц,

Существуют различные типы этих взаимодействий: электростатические, магнитные, диффузионные и др., оказывающие влияние на стабильность во времени частоты пьезоэлектрических устройств (резонаторов, генераторов, фильтров, сенсоров и т.д.). Для исключения этого эффекта целесообразно проводить искусственное старение (стабилизацию частоты) посредством подбора режимов теплового воздействия на устройство.

Высокая плотность и проводимость металлической пленки достигается при скоростях напыления более 500 Å в мин. При малых временах формирования электродных покрытий частицы металла располагаются на подложке равномерно. При использовании применяемого в нанотехнологиях метода лазерного электродиспергирования (ЛЭД) частицы металла образуют именно такой слой, причем проводимость пленки металла зависит от плотности упаковки наночастиц и их размеров. 