

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ КВАРЦЕВЫХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ СВЧ-РЕЗОНАТОРОВ

На электрические параметры резонаторов значительное влияние оказывает точность обеспечения геометрических размеров при нанесении электродных покрытий на кварцевые элементы, что особенно важно при изготовлении микроминиатюрных, высокочастотных и прецизионных изделий. Следует учитывать, что напыление дополнительного слоя металла на электрод пьезоэлемента приводит к ухудшению параметров резонаторов, увеличивает долговременную нестабильность их частоты, искажает температурно-частотные характеристики (ТЧХ), повышает неравномерность измерений динамического сопротивления в широком интервале температур. Для исключения таких эффектов с помощью кварцевого датчика проводится контроль толщины формируемой пленки [1].

При изготовлении СВЧ-резонаторов на частоты 100–500 МГц толщина электродной пленки не должна превышать 80 нм, адгезионного подслоя (обычно из хрома или ванадия) – 1–2 нм, а слоя электродного покрытия (обычно серебра) – 80–90 нм. Реализация этих требований в производстве СВЧ-резонаторов, особенно при возбуждении их на основной частоте, для нанесения и формирования пленочных покрытий требует использования самых современных методов, оборудования и оснастки [2, 3].

Подбор партии кристаллических элементов одинаковой толщины и контроль толщины пленки с помощью кварцевых датчиков обеспечивают изготовление пьезоэлемента с точностью порядка нескольких $\mu\text{м}$ и высокую воспроизводимость ТЧХ. Это позволяет изготавливать резонаторы (с пьезоэлементом среза AT) со стабильностью порядка $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ для $-10\text{--}60^\circ\text{C}$ и порядка $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ для $-60\text{--}85^\circ\text{C}$. При изготовлении прецизионных резонаторов с пьезоэлементами среза SC изменение массы электродного покрытия на 1% эквивалентно изменению эффективного угла среза на 1 мин 20 с (на AT-срезе это изменение соответствует 2 мин 40 с).

На формирование тонкопленочных электродов влияют следующие факторы:

- качество обработки поверхности кристаллического элемента;
- режимы и способы нанесения электродных покрытий;
- плотность материала пленки и напряжения в ней;
- материал пьезоэлектрика и пленки;

- температура подложки в процессе формирования электродного покрытия;
- скорость напыления;
- состав и давление газа при напылении;
- способ напыления.

Адгезия тонкой пленки металла с поверхности кристаллического элемента может быть: механической, межповерхностной, диффузионной или через промежуточный слой (например Cr).

Механическая адгезия пленки определяется микронеровностями подложки, которые существенно увеличивают площадь соприкосновения с пленкой (потеря адгезии может происходить за счет непокрытых участков подложки, вызываемых маскированием микронеровностями).

Межповерхностная адгезия пленки и подложки происходит на разделе двух сред. Различные загрязнения кристаллического элемента (нежелательные оксидные слои, посторонние частицы) уменьшают ее, поэтому перед металлизацией необходима тщательная очистка кристаллических элементов (химическая, ультрафиолетовая, ультразвуковая, парами изо-пропилового спирта, тлеющим разрядом газа в вакууме).

Многие технологии отдают предпочтение вакуумному отжигу и очистке в тлеющем разряде газа в вакууме, однако следует учитывать, что даже при разряжении $\sim 10^{-6}$ мм рт. ст. в течение всего 1 с на кристаллическом элементе образуется мономолекулярный слой остаточных газов [4].

Естественный промежуточный слой образуется на поверхности кварцевого кристаллического элемента при напылении хрома, ванадия, алюминия, титана, тантала, молибдена. Затем проводится напыление адгезивных к такому слою и обладающих высокой проводимостью металлов. Наиболее часто для этих целей используются серебро, медь, золото, причем напыление при высоких температурах снижает в пленках вероятность нарушений кристаллической решетки и появления напряжений.

Следует отметить отрицательное влияние адсорбированных на поверхности кристаллического элемента газов, поскольку захват их атомов или молекул приводит к образованию микропор и высокой неоднородности пленки.

Нанесение покрытий при низких температурах существенно снижает плотность металлической пленки, причем при использовании серебра наибольшая плотность таких покрытий наблюдается при 150–300°C. Она достигает плотности исходного материала, снижается пористость, концентрация загрязнений, напряженность пленки и, как следствие, повышается временная стабильность резонаторов.

Именно напряжение, возникающее в электродных пленках – один из основных источников нестабильности частоты резонаторов (особенно высокочастотных).

**Нанотехнологии.
Наноматериалы.
Наносистемная техника.
Мировые достижения – 2008 год.**

**Сборник под ред. д.т.н.,
профессора**

П.П. Мальцева. –

М.: Техносфера, 2008. – 416 с.,
ISBN 978-5-94836-180-2

Цена: 370 р.

Книга является продолжением серии книг издательства «Техносфера» по мировым достижениям в области нанотехнологий. Охватывает материалы, опубликованные в 2006–2008 гг. в журнале «Нано- и микросистемная техника» и сгруппированные по разделам: наноматериалы, наноэлектроника, нанодатчики и наноустройства, диагностикаnanoструктур и материалов, нанобиотехнология и применение нанотехнологий в медицине. В издании представлены примеры реализации и применения в области технологии формирования nanoструктур, методов исследования наноматериалов, метрологическое обеспечение и основы технологии наносистемной техники.

В книгу введен раздел – англо-русский терминологический словарь по микро- и наносистемной технике.

Сборник представляет интерес для ученых, инженеров и преподавателей высшей школы, аспирантов и студентов, специализирующихся в области нанотехнологий, наноматериалов, наноэлектроники, микро- и наносистемной техники.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 91

По тел./факсу: (495) 956-3346, 234-0110

E-mail: knigi@technosphera.ru; sales@technosphera.ru

Термические напряжения возникают вследствие различия в коэффициентах линейного расширения металлического покрытия и используемого кварцевого элемента. При варьировании температуры они изменяются в широких пределах, причем напряжение в пленках, напыленных на такие элементы при близких к комнатным температурам обычно являются растягивающими.

Помимо термических в электродных покрытиях кварцевых элементов возникают внутренние напряжения, вызванные наличием захваченных при напылении загрязнений, приводящих к нарушению структуры пленок в процессе их роста. Величина таких напряжений зависит от толщины, температуры и скорости осаждения пленки, состава остаточного газа и многих других факторов, например, материала пленки, наличия или отсутствия азотных ловушек, присутствия в вакуумных системах паров воды, давления остаточных газов, причем применение длительного отжига приводит к уменьшению нарушений в кристаллической решетке пленки.

В целом следует отметить, что для качественного нанесения электродного покрытия на кристаллические элементы необходимы:

- их эффективная очистка перед металлизацией, что создает условия для обеспечения проявления адгезионных сил;
- поддержание поверхностей элементов в высокой чистоте, в частности, хранение в обеспыленных, герметичных, с инертной средой контейнерах;
- нанесение промежуточного адгезионного слоя (оксидного, металлического) для обеспечения эффективного межатомного взаимодействия.

Как свидетельствуют эксперименты, максимальная плотность и равномерность пленки достигается при температуре подложки (кварцевого элемента) 150–300°C.

- Плотность и равномерность металлических пленок возрастает при повышении скорости напыления (выше 500 Å/с).
- Термические и внутренние напряжения в электродном покрытии могут быть снижены при уменьшении уровня загрязнения при подготовке и реализации напыления, а также при сокращении оксидных образований на поверхности или внутри пленки и увеличении скорости напыления выше 70 Å/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мостяев В.А., Дюжиков В.И.** Технология пьезо- и акустоэлектронных устройств. – М., 1993.
2. **Берри Р., Холл П., Гаррис М.** Тонкопленочная технология. – М., 1972.
3. **Джовет Ч.Е.** Технология тонких и толстых пленок для микроэлектронники. – М., 1980.
4. **Поут Дж., Мейер Дж.** Тонкие пленки. Взаимная диффузия. – М.: Мир, 1982.