

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 ppm и высокую воспроизводимость ТЧХ. Это позволяет изготавливать резонаторы (с пьезоэлементом среза АТ) со стабильностью порядка $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ для $-10-60^\circ\text{C}$ и порядка $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ для $-60-85^\circ\text{C}$. 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 АТ-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 поверхностного 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 изопропилового спирта, тлеющим разрядом газа в вакууме).

Многие технологи отдают предпочтение вакуумному отжигу и очистке в тлеющем разряде газа в вакууме, однако следует учитывать, что даже при разрядении $\sim 10^{-6}$ 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.

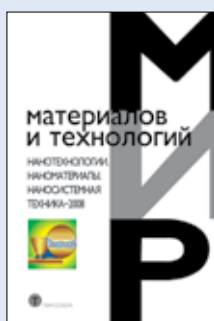
Следует отметить отрицательное влияние адсорбированных на поверхности кристаллического элемента газов, поскольку захват их атомов или молекул приводит к образованию микропор и высокой неоднородности пленки.

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, диагностика наноструктур и материалов, нанобиотехнология и применение нанотехнологий в медицине. В издании представлены примеры реализации и применения в области технологии формирования наноструктур, 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@technosfera.ru; sales@technosfera.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.