



# АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ СОЗДАНИИ ПЛЕНОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

## ANALYSIS AND STUDY OF MATERIAL RESEARCH AND TECHNOLOGICAL FACTORS WHEN CREATING FILM CONVERTERS

Д.Г. Мустафаева\*, к.т.н., доцент, (ORCID: 0000-0002-1694-1230) / dzhamilya79@yandex.ru  
D.G. Mustafaeva, Cand. of Sc. (Technical), Docent

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.5.304.307

Получено: 11.05.2020 г.

Проведены анализ и исследование материаловедческих и технологических факторов при создании пленочных преобразователей, определены требования к материалам и их свойствам, технологии формирования элементов преобразователя. Показано, что учет материаловедческих и технологических факторов обеспечивает соответствие параметров пленочного преобразователя с требуемыми, устойчивость к внешним воздействующим факторам, получение пленок исходного состава, стабильность технологии производства. Выбор параметров материалов производится с учетом режимов и условий эксплуатации, статических и динамических нагрузок, действующих на элементы преобразователя, свойств исходных материалов и пленочных элементов. При сопряжении разнородных материалов учитывают коэффициенты линейного расширения. В процессе создания пленочных преобразователей исходные материалы, конструктивные элементы обрабатываются в различных технологических средах и подвергаются тепловым воздействиям, формируются заданные структуры и параметры пленочного преобразователя, и вместе с этим усиливаются несовершенства, имевшиеся в исходных материалах и элементах преобразователя, которые прямо или косвенно влияют на выходные параметры пленочного преобразователя. При изготовлении пленочных элементов преобразователя выбор метода получения тонких пленок определяется назначением пленки, совместимости метода с другими технологическими операциями микроэлектронной технологии. Воспроизводимость электрофизических свойств тонких пленок имеет место при их осаждении с контролируемым составом, что существенно при получении пленок на основе полупроводниковых соединений и формировании чувствительных элементов преобразователя. Анализ и исследования методов получения пленок показали, что энергетическая эффективность процесса ионного распыления материалов и получения тонких пленок заданного состава, технологическая гибкость, возможность регулирования толщины пленок путем изменения величины тока, времени осаждения и давления, при котором оно проводится, являются наиболее оптимальными.

The analysis and research of material science and technological factors in the creation of film converters is carried out, the requirements for materials and their properties, the technology for the formation of converter elements are determined. It is shown that taking

\* ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)" / North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), NCIMM (STU).



into account materials science and technology factors ensures that the parameters of the film converter meet the required parameters, resistance to external factors, obtaining films of the original composition, and stability of the production technology. The choice of material parameters is made taking into account operating conditions and conditions, static and dynamic loads acting on the converter elements, the properties of the starting materials and film elements. When pairing dissimilar materials, linear expansion coefficients are taken into account. In the process of creating film converters, the starting materials, structural elements are processed in various technological environments and exposed to thermal influences, the specified structures and parameters of the film converter are formed, and at the same time, the imperfections in the starting materials and converter elements are amplified, which directly or indirectly affect the output parameters film converter. In the manufacture of film elements of the converter, the choice of the method for producing thin films is determined by the purpose of the film, the compatibility of the method with other technological operations of microelectronic technology. The reproducibility of the electrophysical properties of thin films takes place when they are deposited with a controlled composition, which is essential when producing films based on semiconductor compounds and the formation of sensitive elements of the transducer. Analysis and research of methods for producing films showed that the energy efficiency of the process of ion sputtering of materials and the production of thin films of a given composition, technological flexibility, the ability to control the thickness of the films by changing the current, deposition time and pressure at which it is carried out, are the most optimal.

## ВВЕДЕНИЕ

Параметры пленочных преобразователей закладываются при разработке конструкции и концепций их создания. Материаловедческие и технологические основы реализуются в технологии производства пленочных преобразователей в промышленных условиях, которые обеспечивают формирование структур с определенными свойствами и параметрами. Пленочные преобразователи состоят из элементов, в состав которых входят различные слои и структуры [1-3].

**Материаловедческие и технологические факторы при создании пленочных преобразователей.** Совокупность функциональных элементов и наличие связи между ними образуют структуру пленочного преобразователя. В зависимости от функциональных и эксплуатационных характеристик в преобразователе выделяют те элементы и связи, которые определяют его функционирование. Анализ состава и структуры преобразователя являются необходимой предпосылкой к его математическому моделированию. При анализе состава преобразователя применяют принцип выделения и рассмотрения структур с двухуровневой иерархией. При этом рассматриваемый преобразователь представляет собой верхний уровень, а выделенные элементы – нижний. Если требуется углубить анализ, то каждый

из выделенных элементов нижнего уровня рассматривается как самостоятельный, который можно разделить на несколько конструктивных элементов.

В состав преобразователя входят элементы: пассивные, накапливающие и рассеивающие энергию, а также активные, в виде источников энергии. К элементам обоих видов относятся: в электрических цепях – пассивные элементы (сопротивление, емкость, индуктивность), активные элементы (источники тока и напряжения).

Свойства исходных материалов преобразователя определяются экспериментально с применением стандартных методов исследований. Свойства материалов элементов преобразователя отличаются от свойств исходного материала учетом влияния технологических факторов и физических параметров.

При математическом моделировании точность по геометрическим параметрам с применением размерных цепей формирует правило определения совокупности соотношений между размерами с учетом существующих между ними связей.

Конструкция преобразователя рассматривается как структура и состояние изделия и определяется как класс некоторого множества с одинаковыми свойствами. Под свойствами понимается объективная особенность,



позволяющая более точно определить изделие при заданной степени детализации; за их пределами изделие теряет свое функциональное назначение.

Конструкция предусматривает взаимное расположение частей и элементов, способ их соединения, взаимодействие, а также материал, из которого должны быть изготовлены отдельные элементы, предусматривает подбор конструктивных характеристик, определяющих основу конструкции.

Конструкция преобразователя должна отвечать своему функциональному назначению, быть конструктивной и технологичной. Конструкция предусматривает расчленение преобразователя на нормализованные и унифицированные элементы.

Для обеспечения соответствия параметров с требуемыми при создании пленочных преобразователей следует придерживаться требований:

- устойчивости к внешним воздействующим факторам;
- выбора оптимального материала по составу и свойствам;
- получения тонких пленок исходного состава;
- стабильности технологии производства;
- оптимальных соотношений взаимосвязанных величин, параметрических и структурных;
- технологичности.

Эти требования находят свое воплощение в конструкции, которой отдают предпочтение перед остальными. Ее проектируют с применением модульных концепций технологического обеспечения на основе функционально-технологического синтеза.

Структура преобразователя – совокупность устойчивых связей, обеспечивающих ее целостность и тождественность, то есть сохранение основных свойств, при различных внешних и внутренних изменениях.

Свойства и состояния материалов, из которых выполнен преобразователь, являются основой работоспособности, в которой лежат физические закономерности. Чем точнее и глубже изучены закономерности, описывающие свойства и состояния материалов, тем достовернее можно сохранить показатели работоспособности в заданных пределах. Структура материала, из которого изготовлен преобразователь, относится к внутренней

структуре. В зависимости от методов описания можно получить информацию о выявленной структуре с различной степенью точности.

Модель с совмещенными параметрами наглядно проявляется в теоретической оптимизации параметров элементов, которая сводится к составлению математической модели с последующей оптимизацией функции цели. Функциональные параметры и критерии оптимизации объединяются в показатели преобразователя, свойства материала и геометрические параметры.

Показатели преобразователя определяются воздействием внешних факторов на элементы и могут считаться независимыми от других параметрических групп. Они состоят из показателей, независимых и связанных между собой, заданных фиксированными значениями или неравенствами ограничений. Показатели перед окончательным выбором подлежат уточнению методами статического и динамического детерминизма, вероятностной прочности для оптимизации значений с учетом прогнозирования параметров преобразователя.

Параметры материала объединяются в самостоятельную параметрическую группу, независимую от других. Они изменяются дискретно в узком пределе из-за ограниченного выбора марок материала в конкретных ситуациях применения элементов.

Выбор параметров конструкционных материалов производится с учетом предполагаемых режимов и условий эксплуатации, режимов статических и динамических нагрузок, действующих на отдельные элементы преобразователя. При выборе материала следует сосредотачивать внимание на несоответствие свойств исходного материала и материала элементов, приводящее к отклонению одноименных параметров технических характеристик, особенно при применении материалов сложного состава (многокомпонентного).

При сопряжении разнородных материалов учитывают коэффициенты линейного расширения каждого материала. На выбор оптимальных параметров материала могут оказывать влияние ограничения геометрических параметров. Геометрические параметры однозначно определяют геометрию элемента. Их совокупность образует геометрическую группу, зависимую от свойств исходных материалов.



На стадии разработки и проектирования оптимизируемая функция цели состоит из показателей преобразователя, свойств материала и геометрических параметров. По области изменения критерия находят оптимальные показатели преобразователя и функциональные параметры элементов.

В процессе изготовления исходные материалы и конструктивные элементы обрабатываются в различных технологических средах и подвергаются интенсивным механическим и тепловым воздействиям. В результате формируются заданные параметры преобразователя, и вместе с этим усиливаются или усугубляются несовершенства, имевшиеся в исходных материалах и конструктивных элементах, а также вносятся новые несовершенства и дефекты, которые прямо или косвенно влияют на выходные параметры преобразователя и на их надежностные характеристики.

### ОБСУЖДЕНИЕ

При изготовлении пленочных элементов преобразователя выбор метода получения тонких пленок определяется назначением пленки, совместимости данного метода с другими технологическими операциями микроэлектронной технологии. Кроме того, для обеспечения воспроизводимости состава и электрофизических свойств тонких пленок на подложке, при формировании чувствительных элементов преобразователя методы осаждения должны позволять получать пленки с контролируемым составом. Это особенно важно при получении пленок полупроводниковых соединений, в силу их особенностей, как наличие множества различных модификаций при незначительно отличающихся составах соединений.

Проведенный анализ и исследования различных методов получения пленок полупроводниковых соединений показали, что при:

- методе мгновенного испарения порция материала испаряется мгновенно и полностью и состав пара, конденсирующегося на подложке, близок к составу исходного материала, и на поверхности конденсации получают пленки заданного состава;
- методе импульсного напыления проводится быстрый импульсный нагрев испаряемого вещества путем подачи мощного кратковременного импульса тока, что исключает возможное расслоение вещества

по компонентам и получения пленок исходного состава и с заданными свойствами;

- методе ионного распыления материалов на основе магнетронной системы технологическая гибкость и возможность регулирования толщины пленок путем изменения величины тока, времени осаждения и давления, при котором оно проводится, позволяют получать тонкие пленки заданного состава.

### ВЫВОДЫ

Свойства и состояния материалов, из которых выполнен преобразователь, определяют его функциональные возможности, в основе которых лежат физические закономерности. Выбор материалов производится с учетом режимов и условий эксплуатации, режимов статических и динамических нагрузок, действующих на элементы преобразователя. Для обеспечения соответствия параметров требуемым, при создании пленочных преобразователей придерживаются характеристик, позволяющих сформировать элементы с заданными свойствами. При изготовлении пленочных элементов преобразователя на основе полупроводниковых соединений выбор метода и режима получения тонких пленок определяется назначением пленки, совместимости данного метода с другими технологическими операциями микроэлектронной технологии, обеспечения воспроизводимости состава и электрофизических свойств тонких пленок на подложке.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Мустафаева Д.Г., Мустафаев М.Г., Мустафаев Г.А. Формирование структур чувствительных элементов пленочных преобразователей с заданными электрофизическими параметрами // НАНОИНДУСТРИЯ. 2017. Т. 10. № 8. С. 60–66.
2. Мустафаев М.Г., Мустафаева Д.Г., Мустафаев Г.А. Формирование многоуровневой системы межсоединений и повышение воспроизводимости процесса при создании элементов интегральной электроники // НАНОИНДУСТРИЯ. 2019. Т. 12. № 6. С. 38–41.
3. Мустафаев М.Г., Мустафаева Д.Г., Мустафаев Г.А. Воспроизводимость и стабильность технологии и параметров структур микроэлектронных приборов // НАНОИНДУСТРИЯ. 2019. Т. 12. № 5. С. 56–59.