

УДК 620.3

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕНЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР СУБМИКРОННЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ

Никита Денисович Коршаков⁽¹⁾, Дмитрий Олегович Москалев⁽²⁾

*Студент 4 курса⁽¹⁾, аспирант 3 года⁽²⁾,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Ю.В. Панфилов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

Джозефсоновский переход является основным элементом сверхпроводниковых квантовых устройств. Конструктивно представляет собой трехслойную структуру из двух сверхпроводников, разделенных тонким слоем диэлектрика. Формирование такой трехслойной структуры происходит с применением технологии теневого осаждения, разработанной физиками Ю. Ниемайером и Г. Доланом [1]. Ее суть заключается в осаждении нижнего электрода через сформированную электронной литографией резистивную маску под углом α_1 , далее идет окисление металла для образования слоя изолятора, служащего туннельным барьером, и формировании верхнего электрода под углом α_2 .

Целью данной работы является обзор методов углового осаждения и анализ влияния параметров процесса электронно-лучевого испарения на структуру получаемых тонкопленочных покрытий. Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи: сформировать маршрутно-технологический процесс изготовления джозефсоновских переходов типа Al/AlOx/Al; определить ключевые параметры процесса электронно-лучевого испарения, которые оказывают влияние на структуру и свойства джозефсоновских переходов; рассмотреть теорию роста тонких пленок в приложении к теневого осаждению джозефсоновских переходов.

Угловое осаждение подразделяется на два типа: осаждение под косым углом; осаждение под скользящим углом [2]. Применимым к технологии теневого осаждения является первый метод. Важно заметить, что структура формируется под неким углом, который не равен углу осаждения, а зависит от него по эмпирическому закону, предложенному Ньювенхайзером [4]:

Осаждение под углом сопровождается эффектом затенения – механический фактор, контролирующей структурную эволюцию пленок, предотвращая осаждение частиц в областях, расположенных за первоначально сформировавшимися зародышами [2]. Влияние этого эффекта можно минимизировать, нагревая подложку во время осаждения. Благодаря нагреву мы улучшаем атомную релаксацию (сохранение импульса у атома при движении по структуре), что позволяет атомам проникать в затененные области, заполняя образовавшиеся поры и уменьшая угол наклона структуры [3].

Шероховатость тонкопленочного покрытия напрямую зависит от пористости, возникающей из-за эффекта затенения. Помимо угла осаждения и температуры подложки на шероховатость влияют скорость испарения и толщина пленки [1].

Быстрое поступление новых частиц мешает диффузии старых, следовательно, частицы хуже проникают в затененные области, что приводит к увеличению пустот.

При угловом осаждении возникает конкурентный процесс в росте пленок, более высокие поверхностные объекты с большей вероятностью будут расти, затеняя меньшие объекты, что приводит к увеличению пустот.

В последние годы все активнее развивается область квантовых вычислений. Ключевым элементом такой схемы является джозефсоновский переход, который представляет из себя многослойную структуру. В настоящее время джозефсоновские переходы на основе Al/AlOx/Al активно применяются во многих областях науки и техники. Поэтому исследование физических принципов работы, а также разработка технологических этапов формирования данных тонкопленочных структур является актуальной задачей, которая будет волновать умы ученых в ближайшие годы.

Литература

1. *Омельянчук А. Н., Ильичев Е. В., Шевченко С. Н.* Квантовые когерентные явления в джозефсоновских кубитах //К.: Наукова думка. – 2013
2. *Barranco A. et al.* Perspectives on oblique angle deposition of thin films: From fundamentals to devices //Progress in Materials Science. – 2016. – Т. 76. – С. 59-153.
3. *Nakhodkin N. G., Shaldervan A. I.* Effect of vapour incidence angles on profile and properties of condensed films //Thin Solid Films. – 1972. – Т. 10. – №. 1. – С. 109-122
4. *Nieuwenhuizen J. M., Haanstra H. B.* Microfractography of thin films //J. appl. Phys. – 1959. – Т. 30. – С. 597