



Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода электроэнергии турбокомпрессора К500-61-5 от температуры воздуха после промежуточных воздухоохладителей

Таким образом, повышение температуры воздуха после промежуточных воздухоохладителей на 10°С, в диапазоне давлений 0,7–0,8 МПа приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии в среднем на 0,6–0,8 %.

УДК 621.793

Кириллюк А.В.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

БНТУ, Минск

Научный руководитель: Латушкина С.В.

При разработке технологий получения сверхтонких плёнок сталкиваются с рядом проблем: качество полученной плёнки зависит от выбранного метода создания плёнки; недостаточная воспроизводимость результатов во всех существующих технологиях и нестабильность свойств плёнок во времени, что

обусловлено особенностями фазовых и структурных состояний вещества в тонких плёнках.

Для контроля толщины оптических покрытий в процессе их осаждения в вакууме используются различные методы, среди которых рентгенографические методы, радиочастотный метод и фотометрические методы контроля толщины слоя.

Наиболее точные измерения толщины для тонких металлических плёнок используют рентгеновские лучи. Наиболее ранним методом измерения толщины был метод поглощения, который основан на измерении ослабления в плёнке соответствующего пучка рентгеновских лучей, дифрагированных кристаллической подложкой. Имеются серьезные ограничения этого метода, так как на измерение интенсивности оказывают влияние характеристики плёнки, такие как: размер кристаллитов, напряжения и предпочтительная ориентация. Он может быть применен тогда, когда подложка содержит значительное количество элементов присутствующих в плёнке. Видоизмененный метод поглощения заключается в измерении ослабления в плёнке характеристического излучения материала подложки. Ослабление для данной длины волны является экспоненциальной функцией толщины плёнки и зависит от коэффициента объемного поглощения материала плёнки. Он не подвержен влиянию не основных примесей.

Интервал измеряемых толщин зависит от энергии излучения подложки и коэффициента поглощения плёнки. Обычно он используется для толстых однокомпонентных плёнок (от 100 нм до 1000 мкм) с точностью $\pm 5\%$. Этот метод не обладает избирательностью в том смысле, что может быть измерена любая плёнка, если ее подложка имеет характеристическое излучение, измеряемое после ослабления плёнкой. Этот метод является одним из лучших неразрушающих методов для непрозрачных плёнок. Наиболее широко применяются два метода контроля – радиочастотный (по изменению массы)

и фотометрический (по изменению коэффициента пропускания или отражения).

Радиочастотный метод основан на измерении изменения частоты колебаний кварцевого кристалла при осаждении на нем плёнки напыляемого вещества. Изменение частоты колебаний кварцевого кристалла пропорционально изменению его массы. Следовательно, если известна масса осаждаемой плёнки, ее плотность и площадь на которую она осаждается, тогда её толщина легко определяется. Однако допущение, что плотность плёнки постоянна по мере ее роста справедливо для металлических плёнок, имеющих толщину более 20÷30 нм, а при меньших толщинах плотность плёнки является функцией толщины. Чувствительность метода в основном определяется стабильностью частоты измерительного кварцевого генератора и эталона частоты. Используемые приборы при рабочей частоте 20 МГц дают возможность определить сдвиг частоты на 2 Гц, что позволяет измерять приращение массы 10-10 г/см. Поскольку кристаллы кварца чувствительны к изменениям температуры, а при напылении испарители выделяют значительное количество тепла, то необходимо применение системы охлаждения для датчиков.

Фотометрический метод основан на контроле изменения коэффициента пропускания или отражения на контрольной длине волны или на нескольких длинах волн. Точностные возможности и диапазон контролируемых толщин плёнок зависит не только от точности измерения коэффициентов пропускания и отражения, но и от методологии проведения контроля. Данный метод позволяет контролировать и оптические постоянные слоя. В обоих выше изложенных методах контроля толщины слоя на существующем уровне развития техники легко реализуется автоматическое окончание осаждения слоя, что позволяет исключить ошибку оператора. Это особенно важно при изготовлении многослойных покрытий

и покрытий, изготавливаемых с высокой скоростью осаждения (единицы секунд), например полупрозрачных слоев металлов. Фотометрические методы позволяют не только контролировать толщину слоя, но и отслеживать изменение оптических постоянных слоя в процессе его роста. В настоящее время существуют различные схемы проведения фотометрических измерений. Наиболее универсальной системой контроля можно считать схему, позволяющую проводить автоматический контроль осаждения, с использованием двух источников излучения и двух пар фотоприемников, реализующую одновременный контроль коэффициентов пропускания и отражения на двух длинах волн или коэффициентов пропускания, отражения и обратного отражения на одной длине волны.

Поскольку во время испарения происходит постоянная фоновая засветка фотоприемников излучением испарителей, то измерения необходимо проводить, модулируя излучение источников света. Поскольку необходимо проводить 10 и более измерений в секунду, необходима частота модуляции $10 \div 30$ кГц.

Также используются системы контроля оптических характеристик на основе современной компьютерной диагностики. Решение этой задачи обеспечивают оптоволоконные спектрометры компании Avantes B.V., оснащенные специализированной системой измерения толщины тонких пленок AvaSpecThinFilm в диапазоне от 10 нм до 50 мкм.

Принцип измерения толщины тонких пленок AvaSpecThinFilm базируется на анализе параметров интерференции света, определяемых в процессе измерений фотометрических характеристик анализируемого объекта. Результаты интерференции света при помощи математической функции преобразуется в характеристики толщины пленки. В случае системы с одиночным пленочным слоем толщина этого слоя может быть вычислена, если известны оптические характеристики материала пленки и подложки [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин, Б.С. Вакуумное нанесение тонких плёнок / Б.С. Данилин. – М.: Энергия, 1967. – 120 с.
2. Борн, М. Основы оптики / М. Борн. – М.: Наука, 1970. – 856 с.

УДК 621.793

Козел Е.И.

ПРОСВЕТЛЕННАЯ ОПТИКА

БНТУ, Минск

Научный руководитель: Данильчик С.С.

Просветление оптики – это нанесение на поверхность линз, граничащих с воздухом, тончайшей плёнки или нескольких плёнок одна поверх другой. Это необходимо для увеличения светопропускания оптической системы. Показатель преломления таких плёнок меньше показателя преломления стёкол линз.

Просветляющие плёнки уменьшают светорассеяние и отражение падающего света от поверхности оптического элемента, соответственно улучшая светопропускание системы и контраст оптического изображения. Просветлённый объектив требует бережного обращения, так как плёнки, нанесенные на поверхность линз, легко повредить. Кроме того, тончайшие пленки загрязнений (жир, масло) на поверхности просветляющего покрытия нарушают его работу и резко увеличивают отражение света от загрязненной поверхности. Следует помнить, что следы пальцев со временем разрушают не только просветление, но и поверхность самого стекла. По методике нанесения и составу просветляющего покрытия просветление бывает физическим (напыление) и химическим (травление).