

РЕЗИСТИВНОЕ ИСПАРЕНИЕ

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: ст. преподаватель Суша Ю.И.*

Существует несколько основных физических методов напыления тонких пленок, и один из них – термическое испарение в вакууме. Этот метод основан на нагреве рабочего материала до температуры, когда он начинает испаряться. Метод термического испарения в свою очередь подразделяется на два других, а именно: резистивное испарение (Джоулев нагрев) и электронно-лучевой нагрев [1]. Принципиальная разница этих методов заключается в разных способах нагрева испаряемого вещества. Если в электронно-лучевом испарении разогрев осуществляется сфокусированным высокоплотным электронным лучом, то в методе резистивного испарения для нагрева используются испарители. Рассмотрим подробнее метод резистивного испарения.

Резистивное испарение – процесс осаждения в вакууме, который нагревает материал до его испарения. Материал нагревается катодом, а тот, в свою очередь, использует электрическую энергию. Сам процесс проводят в высоком вакууме по нескольким причинам: это увеличивает длину свободного пробега молекул и, как следствие, чистоту наносимых тонких пленок, а также возрастают показатели скорости осаждения. Важно упомянуть, что в данном методе вещество из твердого агрегатного состояния при нагреве переходит непосредственно в газообразное, минуя жидкую фазу. Такой процесс называется сублимацией.

Сам процесс выглядит следующим образом: изначально на испарителе находится вещество, которое будет подвергаться нагреву и позже осаждаться на подложке. При нагреве, молекулы вещества испаряются и начинают двигаться к подложке. Такое движение называется миграцией молекулы, при которой молекула сталкивается с подложкой и теряет часть энергии, перемещаясь по ее поверхности, а другую часть энергии молекула передает подложке. Так происходит из-за стремления системы к тепловому равновесию.

Известны следующие вероятные варианты миграции молекул: 1) при столкновении и образовании сильной связи молекулы с подложкой (так называемой «ямой»), молекула становится центром кристаллизации, потому как теряет лишнюю энергию и конденсируется на подложке; 2) при слабой связи с подложкой (так называемый «бугор»), и только в том случае, если молекула обладает избытком энергии, она покидает подложку. Такой процесс называется реиспарение; 3) в третьем случае, при столкновении двух молекул и их одновременной миграции они вступают в сильную (металлическую) связь, в следствие чего падает подвижность группы и вероятность ее высвобождения с поверхности. При образовании большого скопления молекул, это скопление не может мигрировать и становится центром кристаллизации [2].

В местах образования центров кристаллизации наблюдается рост кристаллов, которые потом срастаются и формируют сплошную пленку. При этом, если увеличивается температура подложки (другие условия остаются неизменными), то энергия адсорбируемых молекул становится больше, это повышает вероятность десорбции в потенциальных «ямах». Таким образом, только крупные объединения молекул могут быть устойчивыми. При сильно высокой температуре подложки молекулы не конденсируются, а происходит реиспарение [2].

В данном методе в основном используются два типа испарителей: прямоканальные проволочные испарители и керамические тигли. Первые так же называются ленточными и изготавливаются из тугоплавких материалов, таких как молибден, вольфрам и тантал. Группа этих испарителей разогревается напрямую. Достижение высокого качества испарения металла с нити нужно гарантировать выполнение следующих условий:

1. Металл должен смачивать нить.

2. Не должно быть взаимодействия металла с нитью, а также образования с ней соединений.

Керамические же тигли нагреваются внешним нагревателем из спирали, поэтому такой разогрев называется косвенным. Материал, который образует пленку, находится в контакте с тиглем, и нагрев происходит под действием Джоулева тепла.

Особенности термического (резистивного) напыления: 1) чистота покрытия зависит от качества вакуума и состава пленкообразу-

ющего материала; 2) метод испарения является наиболее быстрым и обладает наибольшим КПД из всех методов напыления; 3) невозможно избежать «загрязнения» потока материалом испарителя из-за высокой температуры на испарителе, которая необходима для напыления пленок из тугоплавких металлов. Подводя итог, метод резистивного термического испарения в различных исполнениях позволяет получить обширный спектр тонких пленок различного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов, А.В. Напыление тонких пленок испарением в вакууме (практикум) 2020.
2. <http://vactron.ru/index.php/library/lecture/180-metody-termicheskogo-isporeniya>.

УДК 621.514

Мелешкевич И.И.

СИСТЕМА ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ВНЕДРЕНИЕМ ХЛАДОНОСИТЕЛЯ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: ст. преподаватель Бабук В.В.*

Холодильное оборудование позволяет сравнительно быстро получать искусственный холод. Именно поэтому оно применяется в пищевой промышленности, где используется скоропортящаяся продукция. В основном, в пищевых производствах используют фреоновое оборудование для создания холода. Хладагентом служит фреон, его востребованность в холодильной промышленности объясняется свойством поглощать и выделять тепловую энергию.

Технологический процесс производства холода с помощью фреонового оборудования представлен на схеме (рисунок 1):

- нагреваясь в технологическом оборудовании вода направляется в панельный теплообменник-испаритель (пластинчатый), где