

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК

*Раткевич А.В., БГТУ, г. Брест*

В настоящее время все более широкое применение в материаловедении находят методы фрактального анализа. Это связано с тем, что толщина тонких пленок не превышает несколько десятков нанометров, в связи с чем традиционные методы анализа зачастую уже не могут выявить закономерности роста тонких пленок и изменения их свойств.

Фрактальный анализ основан на понятии фрактала – самоподобной структуры, обладающей свойствами инвариантности. Иначе говоря, при любом изменении множества точек фрактала в пространстве мы получим то же самое множество точек, а форма фрактала не изменяется от изменения масштаба. Фрактальная размерность ( $D$ ) – это свойство фрактала, показывающая степень заполнения фракталом пространства. Так, для линии она равна 1, квадрата – 2, шара – 3, а у фрактальных объектов-поверхностей она находится между 2 и 3.

Фрактальная природа тонких пленок становится очевидной при рассмотрении поверхности тонкой пленки с различной степенью увеличения. При этом появляется все больше и больше деталей, причем независимо от масштаба они имеют одинаковую структуру. Экспериментальные исследования подтвердили, что фрактальная размерность поверхности тонких пленок различных материалов колеблется в диапазоне от 2,1 до 2,8. Фрактальную размерность можно использовать при описании качества поверхности пленки, а это – важный фактор, влияющий на различные физические свойства пленки.

В качестве методов обработки профилей исследуемых поверхностей для последующего их анализа можно привести следующие: метод островов среза (МОС), метод преобразования подобия (МПП), метод вертикальных сечений (МВС). Эти методы преобразовывают исходную поверхность в набор фрактальных фигур для последующего определения  $D$ . Так, МВС основан на исследовании зависимости длины профиля поверхности от масштаба измерений. Для получения профиля необходимо сделать вертикальный срез поверхности и построить полученную ломаную в декартовых координатах, где в качестве  $x$  будет

выступать длина среза, а  $u$  – значение яркости точки среза. В МОС профиль получается в результате покрытия поверхности каким либо материалом и последующей ее полировки. Таким образом, получаются контуры фрактальных островков для последующей обработки. В МПП используются линии скольжения, которые образуются в результате сдвига в соответствующей единственной плоскости скольжения. Тогда при пересечении линий скольжения с прямой линией образуется фрактальный профиль.

Полученный профиль анализируют для последующего нахождения фрактальной размерности. Для этого необходимо построить график зависимости связанных между собой параметров, и найти угол наклона (например, аппроксимировать график методом наименьших квадратов). Тангенс угла наклона будет представлять искомую размерность.

Сравним между собой следующие методы вычисления фрактальной размерности профиля: метод подсчета ячеек (кубическая размерность), модифицированный метод подсчета ячеек (информационная размерность), корреляционный метод (корреляционная размерность).

В общем случае для определения кубической фрактальной размерности ( $D_{box}$ ) требуется произвести следующее построение: фрактальное множество покрывается элементарными  $d$ -мерными блоками (или сферами) с длиной ребра (радиуса)  $e$  и производится подсчет их числа  $N(e)$ . Затем в двойных логарифмических координатах строится зависимость количества ячеек от размера ячейки. Данный метод обладает тем недостатком, что приходится эмпирическим путем подбирать величину  $e$ : с одной стороны, она должна быть не настолько мала, чтобы стал невозможным подсчет числа элементов, а с другой, не настолько велика, чтобы выйти за область применимости зависимости.

Информационная размерность ( $D_{inf}$ ) строится как зависимость размера покрывающей локальное множество точек ячейки от количества точек множества в ячейке. Этот метод учитывает частотность (локальное свойство множества – свойство принадлежности к соседям локальных точек), т.е. сколько точек множества находится в ячейке. Информационная размерность учитывает «вес» каждой ячейки, в которые входят точки множества.

Еще один способ определения фрактальной размерности – корреляционная размерность ( $D_{cor}$ ). Размерность показывает степень корреляции между каждой парой точек в рассматриваемом фрактальном множестве.

Рассмотрим практические значения этих фрактальных размерностей для фрактальных объектов. Так, для квадратной кривой Кох (теоретическая размерность  $D = 1.5$ ) клеточная размерность равна  $D_{box} \sim 1.53$  (погрешность 1,8%), информационная  $D_{inf} \sim 1.51$  (погрешность 0,9%), корреляционная  $D_{cor} \sim 1.512$  (погрешность 0,9%). Для пленок  $SiO_2$  (увеличение от  $\times 2000$  до  $\times 30000$ ) значения соответственно равны  $D_{box} \sim 2.52$ ,  $D_{inf} \sim 2.51$ ,  $D_{cor} \sim 2.5$  ("истинное" значение размерности такой пленки следует принять равным величине около 2,5).

Как видно, корреляционная размерность более точна, однако для ее вычисления затрачиваются значительные вычислительные ресурсы ЭВМ. Кубическая и информационные размерности более просты в вычислении, однако от выбора шага, с которым будет изменяться размер ячейки для покрытия множества, зависит точность вычисляемой размерности.

Также в последнее время появились много новых методик вычисления фрактальной размерности: спектральной плотности, вариаций, смены центров и т.д. Изучение их представляет интерес для нахождения наиболее оптимального и наименее ресурсоемкого метода для каждого случая. Сейчас можно с уверенностью сказать, фрактальная размерность может быть использована для описания и сравнения качества и свойств поверхности пленок в тех случаях, когда традиционные методы оказываются бессильны.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АРХИВНОМ ДЕЛЕ: ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

*Ровнейко С.Н., БрГУ, Брест*

В последние 50 лет работники архивов различных европейских стран и Америки ищут пути избавления от традиционных рутинных видов работ. К тому побуждают две тенденции: рост состава делопроизводства во всех сферах деятельности человека и расширение информационного пространства вследствие происходящего коммуникативного взрыва в мировом сообществе.