

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕНДРИДНОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИ

تطبيق نظرية الفركتلات لدراسة عمليات تكوين البنية التشعبية للنحاس

Аннотация: в последние годы дендритные структуры широко изучались в области фотоэлектричества, металлургии, лазерной физики, сварки и ряда других приложений. В данной работе методом Box-Counting определялась фрактальная размерность дендрита медной микропористой структуры, сформированной методом электролитического осаждения в ванне с электролитом. Анализ выполнялся на бинарном отпечатке дендрита, полученного из его СЭМ изображения. Установленная фрактальная размерность была равна $D=1.8514$.

Ключевые слова: электролиз, пористая структура, дендриты, медь, фрактал, Box-Counting.

الخلاصة : وفي السنوات الأخيرة، تمت دراسة الهياكل الشجرية على نطاق واسع في مجالات الطاقة الكهروضوئية، وعلم المعادن، وفيزياء الليزر، واللحام، وعدد من التطبيقات الأخرى. في هذا العمل، تم تحديد البعد الكسري لشجرة شجرية لبنية نحاسية دقيقة المسام تشكلت عن طريق الترسيب الكهربائي في حمام إلكتروليط باستخدام طريقة العد الصندوقي. تم إجراء التحليل على بصمة ثنائية للشجيرة الشجرية تم الحصول عليها من صورة المجهر الإلكتروني الماسح. تم العثور على البعد الكسري $D=1.8514$.

الكلمات المفتاحية : التحليل الكهربائي، البنية المسامية، التشعبات، النحاس، الكسورية، عد الصناديق.



المشرف العلمي

Врублевский Игорь Альфонсович
к.т.н., доцент
Зав. НИЛ «Мнозофункциональные металлооксидные композитные материалы» БГУИР

د. إيجور ألفونسوفيتش فروبليفسكي
أستاذ مشارك رئيس مختبر الأبحاث "مواد مركبة
من أكسيد المعادن متعددة الوظائف" التابع
لجامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات
والمعلوماتية

Введение

Процесс формирования дендритных кристаллов меди, получаемых электролитическим осаждением, и возможность управления структурой кристаллов представляет большой практический интерес [1]. Применение теории фракталов позволяет получать больше информации о микроструктуре дендрита, что важно для более точного теоретического моделирования её капиллярных характеристик Рис.1. Целью данной работы было определение фрактальной размерности D дендритного кристалла меди, полученного методом электролитического осаждения.

Результаты и обсуждение

Микроструктура дендритных кристаллов меди была изучена с помощью электронной микроскопии. Одной из главных причин дендритного роста считается неоднородное отложение Cu^{2+} на ребрах и гранях кристалла [1]. Однако в случае электролиза, эволюция морфологии также объясняется усилением переноса Cu^{2+} и разрывом зоны обеднения Cu^{2+} вокруг центров нуклеации, что способствует осаждению ионов Cu^{2+} вдоль направлений $\langle 110 \rangle$ с образованием гранецентрированной кубической (ГЦК) решетки Cu под катодным потенциалом (Рис1,а) [2].

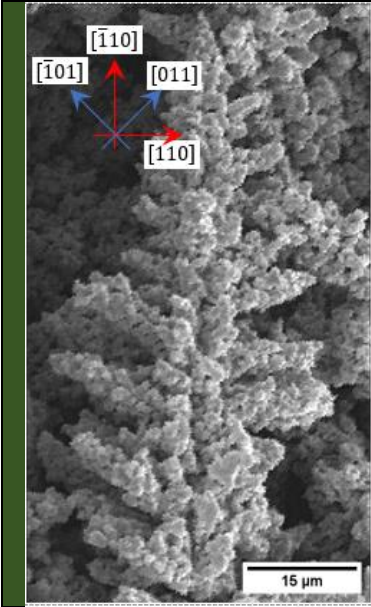
Пользуясь методом Box-Counting [3], проведен расчет фрактальной корреляционной размерности D бинарного отпечатка дендрита (Рис.1,б). Принято, что исходя из того, сколько ячеек N содержит корреляционная размерность D , может быть записана следующая формула (1):

$$N = cs^D$$

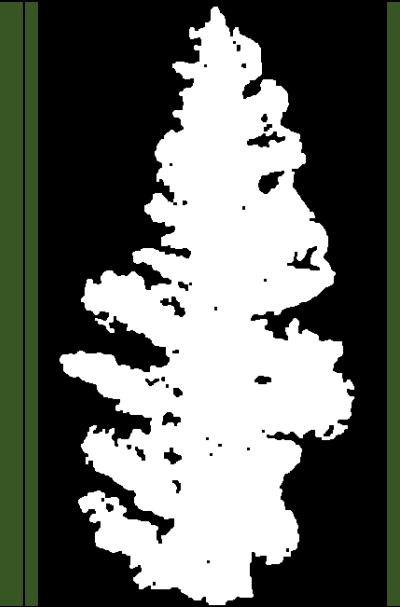
где N - количество ячеек; c - константа пропорциональности; s - фактор масштаба; D - фрактальная размерность.

Прологарифмируем обе части выражения (1) и, применяя свойство логарифма для степенных функций, можно записать выражение (2):

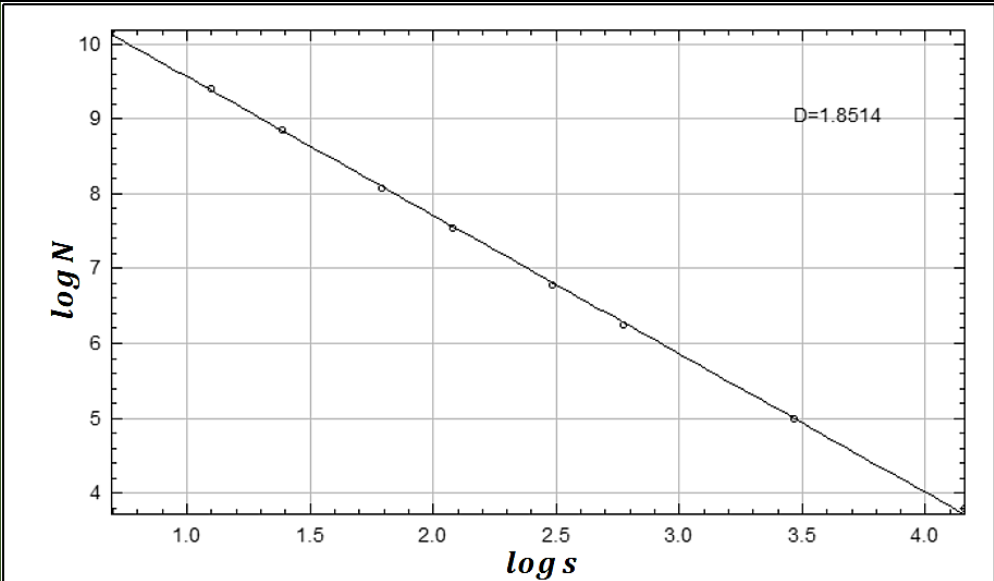
$$\log N = D \log s + \log c$$



а



б



в

а- СЭМ снимок исследуемого дендрита, б- бинарный отпечаток дендрита, в- график определения фрактальной размерности бинарного отпечатка
Рис 1- Определение фрактальной размерности исследуемого дендрита методом Box-Counting

أ- صورة مجهر مسح إلكتروني للشجرة الشجرية المدروسة، ب- بصمة ثنائية للشجرة الشجرية، ج- رسم بياني لتحديد البعد الكسري للبصمة الثنائية
الشكل 1 - تحديد البعد الكسري للشجرة الشجرية المدروسة بطريقة العد المربع

В программе ImageJ [4], было проведено масштабирование ячейки значениями $s=2,3,4,6,8,12,16,32,64$ и затем взят логарифм от полученного количества пограничных ячеек (пикселей) N . В результате был получен график представленный на Рис.1в, в котором фрактальная размерность равна $D=1.8514$. Данный индекс вычислен при помощи аппроксимации линейной функцией.

Закключение

Методом Box-Counting теории фракталов исследована микроструктура дендритов кристаллов меди, сформированных электролитическим осаждения в ванне с электролитом. Анализ показал, что фрактальная размерность равна $D=1.8514$.

الخاتمة

تمت دراسة البنية الدقيقة للتشعبات الشجرية لبلورات النحاس المتكونة عن طريق الترسيب الكهربائي في حمام كهربائي باستخدام طريقة عد الصناديق لنظرية الكسور. وأظهر التحليل أن البعد الكسري هو $D=1.8514$.

المراجع والمصادر

1. Самойлович Ю.А. Расчеты роста скелетных дендритов при затвердевании сплавов с применением теории фракталов // Литъё и Металлургия. - 2008. - 2 (46). - с. 113-118.
2. Xue J. Crystallization behavior and formation mechanism of dendrite Cu₂O crystals // CrystEngComm. - 2012. - Issue 23. - p. 8017-8022.
3. Wu J. An effective method to compute the box-counting dimension based on the mathematical definition and intervals // Results in Engineering. - 2020. - V.6. - p.100-106.
4. Rueden C.T. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data // BMC Bioinformatics. - 2017. - v.18. - p.529.