



Шматок Евгений  
Викторович  
Магистр технических  
наук, соискатель, БГУИР

إيجيني فيكتوروفيتش شماتوك  
ماجستير في العلوم التقنية، باحث،  
جامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات  
والمعلوماتية

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕНТРИДНОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИ, ПОЛУЧЕННОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ

## دراسة خصائص البنية السنبلة للنحاس التي تم الحصول عليها عن طريق الترسيب الكهربائي

**Аннотация:** Производительность новых электрохимических технологических изделий, таких как топливные элементы и батареи во многом зависит от пористой микроструктуры электродов. В работе исследуется медная микропористая дендритная структура, сформированная методом электролитического осаждения в ванне с электролитом. Представленный метод сочетает характеристики углеродных структур (т. е. размер пор, пористость) со свойствами металлов (т. е. пригодность к переработке, электро- и теплопроводимость). Создаются механически стабильные слои толщиной от  $\approx 50\ldots 200$  мкм, с преобладающими диаметрами пор дендритной зоны  $\approx 0.298\ldots 3$  мкм.

**Ключевые слова:** электролиз, пористая структура, дендриты, медь.

**الخلاصة :** يعتمد أداء منتجات التكنولوجيا الكهروكيميائية الجديدة مثل خلايا الوقود والبطاريات إلى حد كبير على البنية الدقيقة المسامية للأقطاب الكهربائية. يبحث هذا البحث في بنية شجرية دقيقة المسام من النحاس تتشكل عن طريق الترسيب الكهربائي في حمام الكتروليت. تجمع الطريقة المقدمة بين خصائص الهيكل الكربونية (أي حجم المسام والمسامية) وخصائص المعادن (أي قابلية إعادة التدوير والتوصيل الكهربائي والحراري). يتم إنشاء طبقات مستقرة ميكانيكيًا بسمك  $\approx 50\ldots 200$  ميكرومتر، مع قطرات مسام سائبة للمنطقة الشجرية تبلغ  $\approx 0.298\ldots 3$  ميكرومتر.

**الكلمات المفتاحية :** التحليل الكهربائي، البنية المسامية، الشجيرات، النحاس.

Научный  
руководитель



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

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

### Введение

Микроструктура и развитость поверхности пористых электродов определяет производительность для новых электрохимических технологических изделий, таких как топливные элементы и батареи. Поддержание электрохимических реакций и конвективно-диффузионного массопереноса с высокой эффективностью является сложной задачей и мотивирует на поиск сложных микроструктур с многомодульным распределением размеров пор [1]. Целью настоящей работы стало исследование пористой структуры, сформированной методом электролитического осаждения в ванне с электролитом, состоящей из микроразмерного дендритного массива с многомодульным распределением размеров пор.

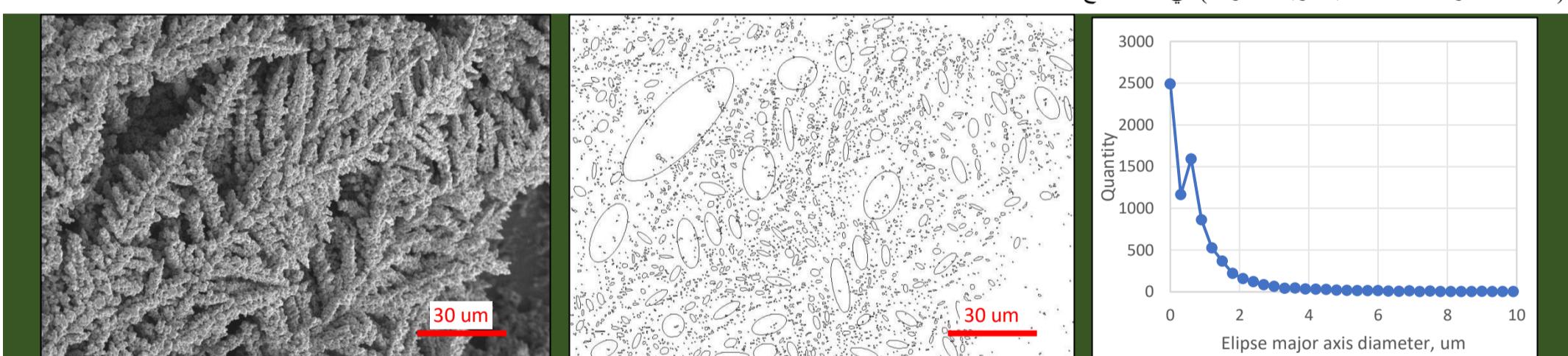
### Результаты и обсуждение

Изображения микроструктуры пористой поверхности изучались методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в сочетании с программной обработкой изображения в ImageJ [2] (Рис1). Определение количества и размеров пор систематизировалось при помощи порогового значения параметра “Threshold”= 80. После установки порогового значения, для уже бинарного изображения СЭМ, в реальные полости и пустоты изображения вписывались эллипсы. Полученный результат представлен на Рис1,б. Количественная статистика главных диагоналей (наибольших размеров вписанных эллипсов) показаны на Рис1,в.

يحدد البنية الدقيقة وتطور سطح الأقطاب الكهربائية المسامية أداء منتجات التكنولوجيا الكهروكيميائية الجديدة مثل خلايا الوقود والبطاريات. إن الحفاظ على الفقاعات الكهروكيميائية ونقل الكتلة بالانتشار الحراري بكفاءة عالية يعد مهمة معقّدة وتحفز البحث عن هيكل دقيق معتقد ذات توزيع متعدد الوحدات لحجم المسام [1]. هدف هذا العمل هو دراسة البنية المسامية المتكونة بطريقة الترسيب الكهربائي في حمام كهربائي، تتكون من مجموعة شجرية صغيرة الحجم مع توزيع متعدد الوحدات لأحجام المسام.

### المقدمة

تمت دراسة صور البنية الدقيقة للسطح المسامي باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بالاشتراك مع معالجة الصور البرمجية في [2] ImageJ (الشكل 1). تم تحديد عدد وحجم المسام بطريقة منهجية باستخدام قيمة العتبة لمعامل "العتبة" = 80. بعد تحديد قيمة العتبة، بالنسبة لصورة المجهر الإلكتروني الماسح الثانية بالفعل، تم نقش قطع ناقص في التجاويف والفراغات الحقيقية لصورة. وتظهر النتيجة التي تم الحصول عليها في الشكل 1، بـ. تظهر الإحصائيات الكمية للأقطار الرئيسية (الأبعاد الأكبر للمجسمات البيضاوية المنقوشة) في الشكل 1 جـ.



а- СЭМ микропористого дендритного покрытия, б- карта вписанных эллипсов, в- распределение диаметров главных диагоналей эллипса

Рис 1- исследование распределения размеров микропористой дендритной структуры

أ- المجهر الإلكتروني الماسح للطلاء الشجريي الواقعية المسام، بـ- خريطة القطع الناقص المحفورة، جـ- توزيع أحجام الأقطار الرئيسية للقطع الناقص

الشكل 1- دراسة توزيع أحجام البنية الشجرية الواقعية المسام

Полученный результат наглядно показывает, что преимущественный диаметр больших диагоналей вписанных в поры эллипсов находится в интервале размеров  $\approx 0.298\ldots 3$  мкм. Максимальный зарегистрированный размер больших диагоналей эллипса порядка  $D \approx 80$  мкм.

تظهر النتيجة التي تم الحصول عليها بوضوح أن قطر المسام للأقطار الكبيرة للقطع الناقص المنقوشة في المسام يقع في نطاق الحجم  $\approx 0.298\ldots 3$  ميكرومتر. الحد الأقصى المسجل لحجم الأقطار الرئيسية للقطع الناقص هو في حدود  $D \approx 80$  ميكرومتر.

### Заключение

Исследована дендритная структура, сформированная методом электролитического осаждения в ванне с электролитом. Эксперименты показали, что синтез механически стабильных слоёв возможен в диапазоне толщин от  $\approx 50\ldots 200$  мкм. Результаты исследований выявили, что подавляющее количественное распределение пор находится в интервале размеров  $\approx 0.298\ldots 3$  мкм.

### الخاتمة

تم دراسة البنية الشجرية المتكونة بطريقة الترسيب الكهربائي في حمام كهربائي. وقد أظهرت التجارب أن تركيب طبقات مستقرة ميكانيكيًا ممكن في نطاق سماكة يتراوح بين 50 إلى 200 ميكرومتر. وكشفت نتائج الدراسات أن التوزيع الكمي الساحق للمسام يقع في نطاق الحجم  $\approx 0.298\ldots 3$  ميكرومتر.

### Литература

- Chu S. Opportunities and challenges for a sustainable energy future // Nature. - 2012. - 488. - p. 294–303.
- Rueden C.T. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data // BMC Bioinformatics. - 2017. - v.18. - p.529.