DOI: 10.17117/na.2016.10.03.355

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.355.pdf>

Поступила (Received): 16.10.2016

**Абдугаффарова К.К., Чиркунова Н.В.,
Приезжева А.Н., Дорогов М.В.
Получение икосаэдрических и декаэдрических
малых частиц серебра методом электроосаждения**

**Abdugaffarova K.K., Chirkunova N.V., Priezzheva A.N., Dorogov M.V.
Obtaining of silver icosahedral and decahedral small
particles by electrodeposition**

В работе представлен способ получения икосаэдрических и декаэдрических малых частиц меди и серебра. Пентагональные частицы выращивались методом электроосаждения металла. Указаны технологические режимы получения пентагональных объектов. Исследована структура и морфология малых частиц, полученных методом электролиза

Ключевые слова: пентагональная симметрия, икосаэдрическая и декаэдрическая малая частица

This paper presents a method for preparing icosahedral and decahedral small particles of copper and silver. Pentagonal particles were grown by electrodeposition of metal. Shown technological regimes of obtaining pentagonal objects. The structure and morphology of the small particles obtained by electrolysis were studied

Key words: pentagonal symmetry, icosahedral and decahedral small particle

Абдугаффарова Кристина Камильевна
Младший научный сотрудник
Тольяттинский государственный университет
г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Abdugaffarova Kristina Kamilevna
Junior Researcher
Togliatti state university
Togliatti, Belorusskaya st., 14

Чиркунова Наталья Валерьевна
Научный сотрудник
Тольяттинский государственный университет
г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Chirkunova Natalia Valerievna
Researcher
Togliatti state university
Togliatti, Belorusskaya st., 14

Приезжева Анастасия Николаевна
Младший научный сотрудник
Тольяттинский государственный университет
г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Priezzheva Anastasia Nikolaevna
Junior Researcher
Togliatti state university
Togliatti, Belorusskaya st., 14

Дорогов Максим Владимирович
Кандидат физико-математических наук, доцент
Тольяттинский государственный университет
г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Dorogov Maksim Vladimirovich
Candidate of Physical and mathematical Sciences,
Associate Professor
Togliatti state university
Togliatti, Belorusskaya st., 14

Научно-исследовательская работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-32-00402)

Термином малые частицы в настоящее время объединяют такие понятия как: ультрадисперсные частицы, микро- и нано- частицы или кристаллы [1]. Малые частицы в форме порошка активно используются в технике и промышленности, особенно это относится к таким металлическим частицам как медь и серебро, которые широко применяются, благодаря хорошей тепло- и электропроводности, при производстве электротехнических и электронных изделий. Также медные и серебряные малые частицы применяются в химической промышленности, например, серебро – наиболее часто используемый катализатор окисления метанола в формальдегид [2].

В физике твердого тела хорошо известно, что на свойства частиц влияет не только их состав и размер, но и морфология.

Пентагональные частицы и кристаллы вызывают высокий интерес у исследователей благодаря особенностям своего строения. В пентагональных объектах присутствуют оси симметрии 5-го порядка и высокоэнергетические дефекты дисклинационного типа, создающие дальнodelействующие поля упругих напряжений.

Описание пентагональных объектов можно встретить уже в 1831 г. В своей работе Роуз описал частицы золота в форме сильно фасетированного декаэдра. Уже тогда необычная форма частиц привлекла внимание исследователей, поскольку они обладают осями симметрии 5-го порядка, запрещенными законами кристаллографии. Первые упоминания о медных пентагональных объектах относятся к 1882 г [3]. Для описания декаэдрических и икосаэдрических частиц Херманн в [4] предложил некристаллические точечные группы симметрии D_{5h} и I_h .

Наиболее полное описание структуры пентагональных частиц представлено в [1, 5, 6]. Декаэдрические частицы имеют 7 вершин, 10 граней {111} и обладают 1 осью симметрии 5-го порядка. Частицы в форме икосаэдра 12 вершин, 20 граней {111} и 6 осей симметрии 5-го порядка. В икосаэдрических и декаэдрических частицах топологически необходимо наличие дефектов дисклинационного типа. Дефекты дисклинационного типа обуславливают большую запасенную упругую энергию в пентагональных частицах, которая сильно зависит от их размера [7].

В [1] теоретически показано, что только при малых размерах (менее 10 нм) икосаэдрическое расположение атомов энергетически более выгодно, чем кристаллическое, например, ГЦК или ГПУ. Однако на практике получают пентагональные частицы размером сотни микрометров [5 – 8]. Этот факт объясняется различными механизмами релаксации.

В данной работе пентагональные объекты, в виде икосаэдрических и декаэдрических малых частиц (ИМЧ и ДМЧ), получали методом электроосаждения металла из водного раствора электролита.

Осаждение меди проводили при низких перенапряжениях (30 – 200 мВ) в потенциостатических условиях по трехэлектродной схеме. В качестве подложки использовали плоскую полированную нержавеющую сталь с напылением нитрида титана, а также микросетку из нержавеющей стали типа 12X18H10. Электродом сравнения служила медная проволока. Электролит использовали

следующего состава: 250 г/л сернокислая медь $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ и 90 г/л серная кислота H_2SO_4 . Детальное описание методики можно увидеть в [5].

Для получения электроосаждённых микрочастиц и кристаллов серебра использовали электролиты: содержащий 35 г/л азотнокислого серебра AgNO_3 , 150 г/л сернокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с величиной pH 7. Электролиз проводили в стандартной электрохимической ячейке по двухэлектродной схеме при напряжении между катодом и анодом 80 – 250 мВ. В качестве подложки использовали плоскую полированную нержавеющую сталь с напылением нитрида титана.

Для управления процессом электроосаждения использовали потенциостат IPC-Pro M, управляемый компьютером с программным обеспечением IPC2000.

Структуру и морфологию исследовали методом сканирующий электронной микроскопии и металлографии. Фазовый и химический состав определяли методами рентгеновской дифракции и локального рентгеноспектрального микроанализа.

Время осаждения позволяет контролировать размер частиц. Например, при перенапряжении на катоде – 160 мВ частицы меди размером около 10 мкм вырастают в течение 10 мин. Анализ морфологии осадка показывает, что преимущественный габитус у частиц наблюдается в форме икосаэдра (рис. 1 а).

Рис. 1. Пентагональные микрочастицы меди (а) и серебра (б)

При напряжении 110 мВ в процессе электролиза серебра наблюдались образования в виде микрочастиц в форме пентагональных «звезд», идеальных декаэдров и икосаэдров (рис. 1 б).

Таким образом нами показано экспериментально, что пентагональные малые частицы образуются при электролизе в узком интервале перенапряжения.

Список используемых источников:

1. Gryaznov V.G., Kaprelov A.M., Heydenreich J., Nepijko S.A., Urban J., Romanov A.E. *Pentagonal symmetry and disclinations in small particles* // *Crystal Research and Technology*. 1999. Vol. 34(9). P. 1091-1119.
2. Wiley B., Sun Y., Xia Y.. *Synthesis of silver nanostructures with controlled shapes and properties* // *Accounts of Chemical Research*. 2007. Vol. 40(10). P. 1067-1076.
3. Von Lasaulx A. *Ueber Zwillingskrystalle von gediegen Kupfer* // *Sitzungsber. Niederrhein. Gesellsch.* 1882. Vol. 39. P. 95-99.
4. Hermann C. *Die Symmetriegruppen der amorphen und mesomorphen Phasen* // *Z. Kristallogr.* 1931. V. 79. P. 186.

5. Викарчук А.А., Грызунова Н.Н., Довженко О.А., Дорогов М.В., Сирота В.В., Цыбускина И.И., Ясников И.С. Новые металлические функциональные материалы, состоящие из пентагональных частиц, кристаллов и трубок. Ч. II. Механизмы образования и особенности строения нитевидных пентагональных кристаллов и трубок // Журнал функциональных материалов. 2008. Т. 2. № 6. С. 213-224.
6. Vikarchuk A.A., Dorogov M.V. Features of the evolution of the structure and morphology of the surface of icosahedral copper particles in the annealing process // Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters). 2013. T. 97. № 10. С. 594-598.
7. Yasnikov I.S., Dorogov M.V., Tyurkov M.N., Vikarchuk A.A., Romanov A.E. On the habitus modification of silver microcrystals by electrolytic origin // Crystal Research and Technology. 2015. T. 50. № 4. С. 289-292.
8. Абдугаффарова К.К., Дорогов М.В., Викарчук А.А. Особенности получения малых частиц серебра декаэдрического и икосаэдрического габитуса методом электроосаждения // В сборнике: Современные тенденции в образовании и науке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 14 частях. 2014. С. 10-12.

© 2016, Абдугаффарова К.К., Чиркунова Н.В.,
Приезжева А.Н., Дорогов М.В.

Получение икосаэдрических и декаэдрических малых
частиц серебра методом электроосаждения

© 2016, Abdugaffarova K.K., Chirkunova N.V.,
Priezzheva A.N., Dorogov M.V.

Obtaining of silver icosahedral and decahedral small
particles by electrodeposition