

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ МЕДИ В НАНО- И МИКРОСТРУКТУРАХ

Югова И.С., Кузнецов А.В.

Научный руководитель: профессор кафедры общей физики Ерофеева Г.В.

Томский политехнический университет (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30),

e-mail: [ir.yugova@yandex.ru](mailto:ir.yugova@yandex.ru)

В процессе выполнения данной работы был проведен сравнительный анализ свойств меди в нано- и микроструктурах. Изучение свойств меди было проведено путем обзора литературных источников. Были рассмотрены следующие свойства: температуры плавления и кипения, плотность и удельное электрическое сопротивление. В результате сравнения установлено, что данные свойства у нано- и микроструктур у меди имеют некоторые различия, но незначительные. Для того, чтобы определить, какие размерные эффекты влияют на различия свойств меди в нано- и микроструктурах, рассчитана длина волны де-Бройля, затем проведено сравнение получившегося значения с размером частицы в наноструктуре. В результате, было установлено, что измерения объясняются классическими размерными эффектами. Также проанализированы сферы применения наночастиц меди.

Ключевые слова: поверхность Ферми, наноструктура, размерный эффект.

Comparative analysis of the copper properties in the nano- and microstructures was carried out in this work. The study of the copper properties was carried out by reviewing the literature. We examined the following properties: melting and boiling points, density and electrical resistivity. The comparison established that these properties at nano- and microstructures of the copper have some differences, but minor. To determine what size effects influence the differences in the copper properties in the nano- and microstructures, is calculated wavelength de Broglie, then the resulting values are compared with the size of the particles in the nanostructure. As a result, it was found that the measurements are explained classical size effects. It is also analyzed the scope of the copper nanoparticles.

The keys word: Fermi surface, nanostructure, size effect.

**Введение.** Наночастицы начали исследоваться относительно недавно – 15-20 лет назад. Наиболее активно это направление стало развиваться в 90-е годы прошлого века. В это время состоялись первые международные конференции по наноматериалам и появились первые специализированные научные журналы. Сейчас разделы, связанные с нанотехнологиями, входят в программы многих отечественных и международных конгрессов и конференций как самостоятельные части.

**Анализ свойств меди в микро- и наноструктурах.** Медь имеет прямую гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку с периодом  $a = 0,3615$  нм [2] и обратную объемноцентрированную кубическую (ОЦК) с периодом  $a^* = 17,3809$  нм (рисунок 1).

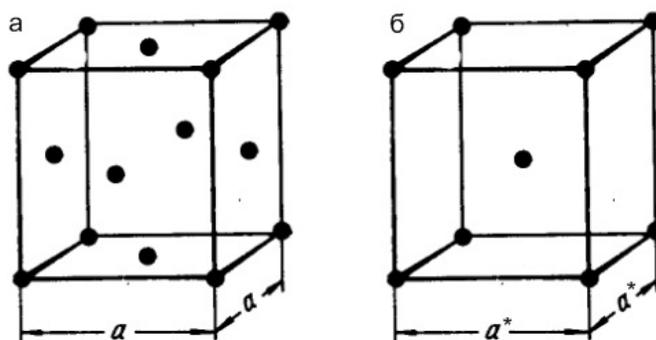


Рисунок 1 – Структура кристалла меди: а) прямая ГЦК решетка, б) обратная ОЦК решетка

На рисунке 2 представлена топология поверхности Ферми для меди. Поверхность Ферми представляет собой наглядную иллюстрацию поведения электронов в металлах и позволяет объяснить основные свойства какого-либо металла. Например, формой поверхности Ферми определяются такие свойства металлов, как блеск, ковкость, тепло- и электропроводность [8].

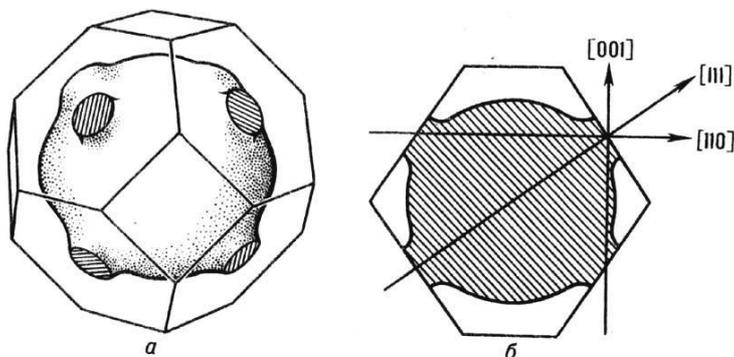


Рисунок 2 – а) поверхность Ферми для меди, б) сечение поверхности плоскостью [9]

По рисунку видно что, поверхность Ферми находится внутри зоны Бриллюэна (рисунок 2, а) и она имеет открытые направления (рисунок 2, б) при сечении поверхности Ферми плоскостью [110]. Форма поверхности Ферми меди была определена с помощью аномального скин-эффекта. Позже она была подтверждена с помощью эффекта де Гааза-ван Альфена по исследованию магнитосопротивления [4].

В таблице 1 представлены свойства меди в микро- и наноструктурах (по литературным данным [2,3,7]).

Таблица 1 – Свойства в микро- и наноструктурах

Свойства	Микроструктура	Наноструктура
Температура плавления, °С	1084	1083
Плотность, г/см <sup>3</sup>	8,9	5
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,0178	0,0167
Температура кипения, °С	2540	2567
Размер частицы	-	40-80 нм

По данным таблицы видно, что температура плавления для микро- и наноструктуры не отличается; удельное сопротивление меняется незначительно; плотность уменьшается в 1,8 раза.

Для определения вклада в изменение свойств размерных эффектов необходимо рассчитать длину волны де Бройля или длину свободного пробега и сравнить полученное значение с размером наночастиц меди.

Формула для расчета:

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \quad (1)$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка,  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг – масса электрона,  $v = 10^6$  м/с – скорость электрона.

В результате расчета получается, что  $\lambda = 0,7$  нм, поскольку данное значение много меньше размера наночастицы, основное влияние на изменение свойств меди в наноструктурах оказывают классические размерные эффекты. Одной из причин размерных эффектов является большая доля приповерхностных атомов, которая возникает вследствие ненасыщенности атомных связей у поверхности, искажения решетки у поверхности, тонких физических эффектов взаимодействия электронов со свободной поверхностью.

Наноструктура меди представляет собой совокупность мелких твердых частиц – порошок. На рисунке 3 представлен вид этих частиц.

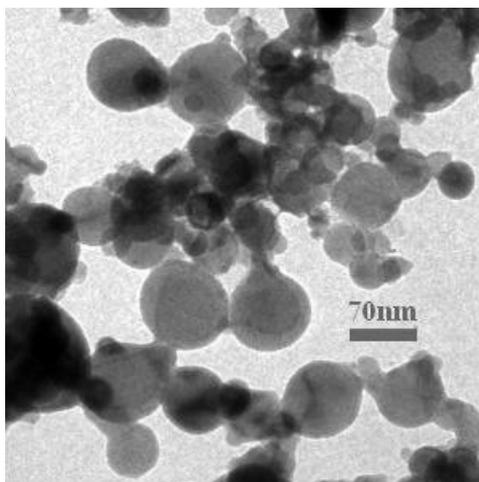


Рисунок 3 – Наночастицы меди [10]

**Получение.** Получить наночастицы меди можно при  $\gamma$ -радиолизе водных растворов  $\text{KCu}(\text{CN})_2$  в присутствии спиртов в качестве акцепторов гидроксильных радикалов; с помощью пиролиза, когда происходит разложение вещества с образованием наночастиц при нагреве до определенной температуры [6].

**Применение.** Наночастицы меди находят применение в химической, авиационной, машиностроительной, автомобильной, приборостроительной, электронной и др. отраслей промышленности:

- в качестве катализаторов в некоторых реакциях;
- для покрытий поверхностных контактов электронной промышленности;
- для лечения ожоговых ран;
- улучшение качества порошковых сталей и шинных резин;

- в производстве металлических изделий, красок специального назначения и строительных материалов [1,5-7,10].

**Заключение.** Проведен сравнительный анализ свойств меди в микро- и наноструктурах. В процессе анализа литературных источников было обнаружено, что свойства наноструктуры меди отличаются от микроструктуры, но незначительно. Показано, что основное влияние на изменение свойств меди в наноструктурах оказывают классические размерные эффекты.

#### **Список использованных источников**

1. Алипов В.В., Добрейкин Е.А., Урусова А.И., Беляев П.А. Результаты сочетанного применения наночастиц меди и низкоинтенсивного лазерного облучения при инфицированных ожоговых ранах кожи в хирургическом эксперименте // *Фундаментальные исследования*. – 2013. - №9. – С. 572-576.
2. Бобылев А.В. Механические и технологические свойства металлов: справочник. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
3. Компания по производству и продаже чистых химических веществ «Sigma-Aldrich» [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/774103?lang=en&region=RU/>
4. Крэкнелл А., Уонг К. Поверхность Ферми. – пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.
5. Майер А.Е. О возможности использования ускоренных электрическим полем наночастиц для нанесения покрытий и модификации поверхностного слоя металлов // *Вестник ЧелГУ*. – 2013.- №25 (316). – С. 52-56.
6. Попов Ю.В., Мохов В.М., Небыков Д.Н., Будко И.И. Наноразмерные частицы в катализе: получение и использование в реакциях гидрирования и восстановления (обзор) // *Известия ВолгГТУ*. – 2014. - №7 (134). – С. 5-44.
7. Портал российской национальной нанотехнологической сети [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru/goods/31895/>
8. Учебно-научный центр ОИЯИ [Электр. ресурс]. – [http://newuc.jinr.ru/img\\_sections/file/Aspirant/Belushkin/%204%20for%20pdf.pdf/](http://newuc.jinr.ru/img_sections/file/Aspirant/Belushkin/%204%20for%20pdf.pdf/)
9. Энциклопедия физики и техники [Электр. ресурс]. – Режим доступа: [http://femto.com.ua/articles/part\\_2/4299.html/](http://femto.com.ua/articles/part_2/4299.html/)
10. US Research Nanomaterials, Inc [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.us-nano.com/inc/sdetail/160/>