

СЕРЕБРО В НАНО И МАКРОСТРУКТУРАХ

Вахрушев Д.О.*, Мурзарахимов Р.Р.*

Научный руководитель: Ерофеева Г.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет

(634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30)

E-mail: arankar00123@gmail.com

В данной статье приведены свойства серебра в зависимости от размерных характеристик, а точнее для наноструктуры и макроструктуры. Представлена прямая и обратная кристаллические решётки для серебра и показана зависимость между ними. Описана поверхность Ферми и зона Бриллюэна, так как они тесно связаны со свойствами материала. Приведена сравнительная таблица характеристик серебра в макро- и нано (порошок) диапазонах. В ряде работ выявлены зависимости изменения следующих характеристик: температура плавления серебра уменьшилась на 411 К при переходе от макро-состояния к нано, похожая зависимость наблюдалась для температуры кипения серебра, которая уменьшилась на 352 К, плотность существенно уменьшилась от величины 10.501 г/см³ до 5.8 г/см³, предел текучести увеличился в 2.15 раз, твёрдость по Бринеллю также существенно увеличилась в 5.5 раз. С другой стороны, модуль сдвига и теплопроводность уменьшились. Данное поведение характеристик материала обусловлено классическими размерными эффектами. Также приведены методы получения нано- серебра, такие как метод фото редукции, микроволнового восстановления и метод электронного облучения, а также метод химического восстановления.

Ключевые слова: серебро, наноматериал, порошок, получение, применение.

SILVER IN NANO AND MACROSTRUCTURES

Vakhrushev D.O.*, Murzarakhimov R.R.*

Scientific supervisor: Erofeeva G.V.

*National Research Tomsk Polytechnic University

(634050, Tomsk, Lenin avenue 30)

E-mail: arankar00123@gmail.com

This article presents the properties of silver, depending on the dimensional characteristics, and more specifically for the nanostructure and macrostructure. The direct and reverse crystal lattices for silver are presented and the relationship between them is shown. The Fermi surface and the Brillouin zone are described, since they are closely related to the properties of the material. A comparative table of silver characteristics in the macro and nano (powder) ranges is given. In a number of studies, dependences of changes in the following characteristics were revealed: the melting point of silver decreased by 411 K during the transition from the macroscopic state to nano, a similar dependence was observed for the boiling point of silver, which decreased by 352 K, and the density significantly decreased from 10.501 g / cm³ to 5.8 g / cm³, yield strength increased 2.15 times, Brinell hardness also increased significantly 5.5 times. On the other hand, the shear modulus and thermal conductivity decreased. This behavior of material characteristics is due to classical dimensional effects. Methods for producing nanosilver are also given, such as the photo reduction method, microwave reduction method, and electron irradiation method, as well as the chemical reduction method.

Keywords: silver, nanomaterial, powder, preparation, application.

Серебро один из наиболее распространённых материалов в разных отраслях, например медицине. Важными критериями использования данного материала являются его свойства. Целью данной статьи стояло провести сравнительные характеристики серебра в макро и нано состоянии для учёта особенностей поведения материала и грамотного его использования.

Кристаллическая решётка - гранецентрированная кубическая, рисунок 1. Температура плавления - 962 °С, плотность - 10,5 г/см³. [1]

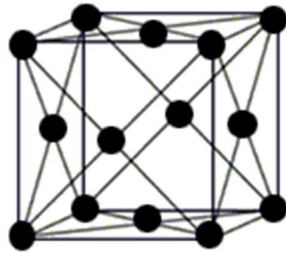


Рис. 1. Гранецентрированная кубическая решетка

В ряде случаев удобно описывать свойства материала в обратном пространстве, представляющем собой трёхмерную решётку, где расстояния имеют обратные величины.

Параметр обратной решётки для серебра

$$\bar{a} = \frac{2 \cdot \pi}{a}$$

где \bar{a} - параметр обратной решетки, a - параметр прямой решетки.

Обратная решётка для серебра будет представлять собой объёмно-центрированную решётку, рисунок 2.

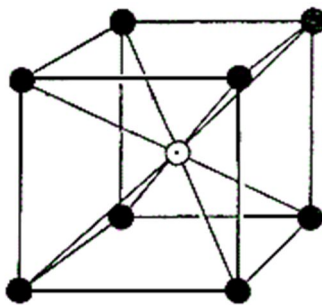


Рис. 2. Объёмно-центрированная решетка

Поверхность Ферми так же играет важную роль в физике. Знание поверхности ферми может объяснить поведение материала при разных условиях, например, транспортные свойства, такие как проводимость и магнитосопротивление. Описанные свойства зависят только от электронов вблизи поверхности Ферми [2]. На рисунке 4 проиллюстрированы поверхность Ферми и зоны Бриллюэна для серебра.

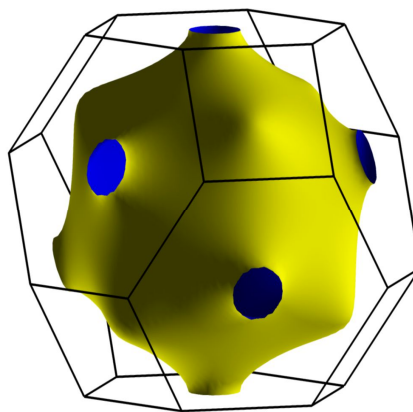


Рис. 4. Зона Бриллюэна и поверхность Ферми для серебра

На предоставленном рисунке отображено наличие полых, малых отверстий, поверхность Ферми открытая. Можно сделать вывод о том, что электроны передвигаются через патрубки, которые на рисунке срезаны границами зоны Бриллюэна, что и объясняет хорошую электропроводность металла.

Теоретическая температура плавления была смоделирована и представлена на рисунке 5. Данная модель отлично согласуется с экспериментальными данными в работе [3]. В дополнении к этому, в работе [8] была продемонстрирована зависимость температуры кипения от числа частиц углерода. Данная зависимость продемонстрирована на рисунке 6.

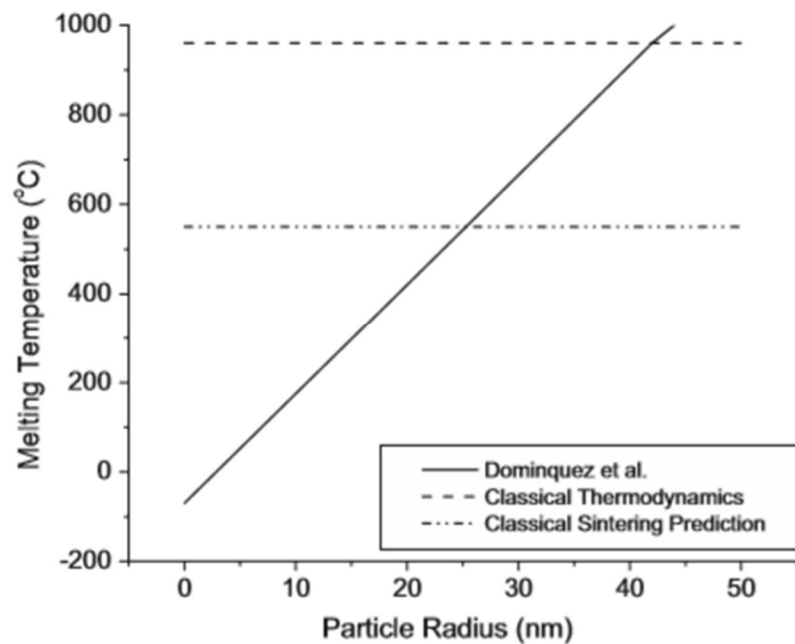


Рис. 5. Прямая зависимости температуры плавления от размера зёрен [6]

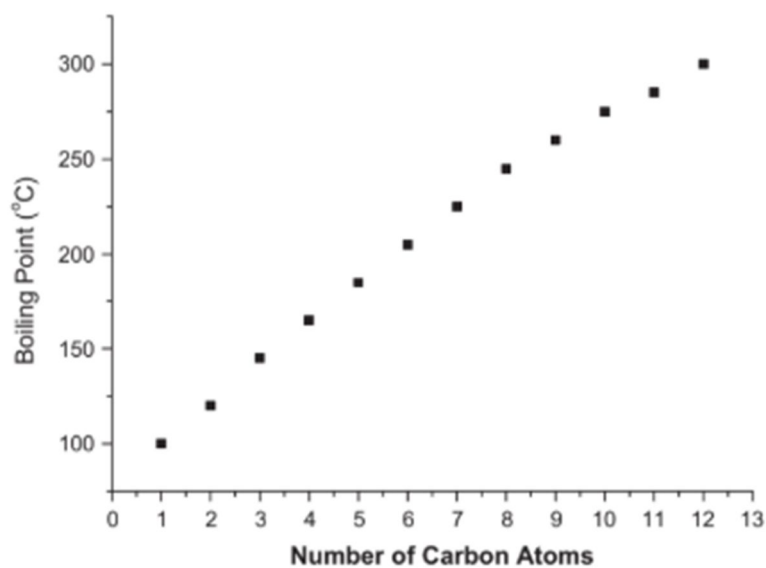


Рис. 6. Зависимость температуры кипения диспергаторов от количества частиц углерода при спекании нанопорошка Ag [8]

Важно понимать, при проектировании изделий или нанесения покрытий об изменение свойств серебра в зависимости от его состояния. В связи с этим была представлена сравнительная таблица, таблица 1, характеристик серебра в макро и наноструктурах.

Таблица 1. сравнение характеристик Ag в микро и наноструктурах

Свойства	Макроструктура	Наноструктура при размере частиц 20-40 нм. (порошок)
Температура плавления серебра	1234 К	823 К [3]
Температура кипения серебра	2435 К	2083 К [3]
Плотность	10,501 г/см ³	5.8 г/см ³ [9]
Предел текучести	20 МПа	43 МПа [4]
Твёрдость по Бринеллю	250 МПа	1400 МПа [5]
Модуль сдвига	30 ГПа	40 МПа [3]
Теплопроводность	$\frac{Вт}{м \cdot К}$ 410,5	$\frac{Вт}{м \cdot К}$ 111 [10]

Из рисунка 5, видно, что увеличение размера частиц серебра, приводит к существенному изменению температуры плавления. С другой стороны, существуют и другие факторы, приводящие к изменениям температуры кипения. Например, как было показано, одним из факторов может случить количество частиц углерода. Также можно отметить изменение механических свойств материала, проиллюстрированных в таблице 1.

Ключевую роль в изменении поведения наносеребра при переходе от макроструктуры к нано играют классические размерные эффекты. Данное предположение было основано на сравнении размеров наноструктуры серебра с длиной волны де-Бройля. Для металлов длина волны де Бройля находится в интервале 0.1 нм – 1 нм. Основываясь на данном факте може прийти к выводу о несущественном влиянии квантовых размерных эффектов. Однако, поскольку консистенция серебра - порошок, то внутри могут быть структуры с квантовую точку или порядка 1-10 нм, что говорит о том, что частично могут наблюдаться квантовые размерные эффекты.

Так как размер нано-порошка Ag сравним с длиной свободного пробега в кристалле и составляет 50-100 нм, то к классическим размерным эффектам можно отнести понижение температуры плавления, повышение теплоёмкости, увеличение коэффициента термического расширения и уменьшение теплопроводности, а также возрастание удельного сопротивления, увеличение механических характеристик, например, твёрдость, что согласуется с вышеприведенной таблицей 1.

С начала развития использования материалов с наноструктурой, наносеребро обрело одно из наиболее широких применений в различных сферах деятельности человека.

Методы получения наносеребра различны и могут осуществляться как на основе физических воздействий, так и при помощи химических реакций. В основу физического получения используются установки по механическому измельчению серебра вплоть до наноразмеров частиц. К химическим методам наиболее широкий способ получения наносеребра основан на химическом восстановлении. В частности можно выделить методы фоторедукции, как метода физического восстановления либо фотовосстановление, придерживающееся восстановления ионов серебра до размера частиц серебра в нанодиапазоне с использованием катализаторов и образованием радикалов, под воздействием ультрафиолетового излучения.

Материалы на основе серебра имеют широкое применение в промышленности и медицине. Например, специально приготовленные наночастицы серебра используются в качестве сенсоров для определения болезнетворных бактерий. Серебро наносится тонкой плёнкой на хирургические инструменты для обеспечения антибактериального эффекта. С другой стороны, можно выделить следующее применение материалов на основе серебра:

- Для контактов электротехнических изделий, например, контакты реле, ламели, а также многослойных керамических конденсаторов.
- Изготовление батареек.
- Ювелирная сфера применения.
- Из-за высочайшей электропроводности и стойкости к окислению применяется:
 - в электротехнике и электронике как покрытие ответственных контактов
 - в СВЧ технике как покрытие внутренней поверхности волноводов
 - В качестве отражающей поверхности.
- Используется в качестве катализаторов в химических реакциях.

Можно также выделить тенденцию развития использования наносеребра. Важно отметить широту использования данного материала в медицине, где он нашел применение в качестве покрытия инструментов, так и подложка из наносеребра может служить хорошей основой для имплантации неорганических приборов в человеческий организм.

Список литературы:

1. «Silver - Wikipedia,» Bomis, [Электронный ресурс]. URL: <https://euon.echa.europa.eu/general-information> [Дата обращения: 28. 10. 2018].
2. Михайлушкин А. С. и др. Изменение топологии поверхности Ферми под давлением в твердых растворах на базе алюминия //Физика твердого тела. – 2003. – Т. 45. – №. 12. – С. 2113-2117.
3. Kim S. Siow, Mechanical properties of nano-silver joints as die attach materials. // Elsevier. 2012. vol. 514. P. 6-19.
4. J.G. Bai, Z.Z. Zhang, J.N. Calata, G.Q. Lu, IEEE Trans. Compon. Packag. 2006. vol. 29. P. 589–593.
5. N.P. Kobelev, Y.M. Soifer, R.A. Andrievski, B. Gunther, Nanostructure. 1993. vol. 2. P. 537–544.
6. A.V. Panin, A.R. Shugurov, K.V. Oskomov, Phys. Solid State. 2005. vol. 47. P. 2055–2059.
7. N.B. Bell, C.B. DiAntonio, D.B. Dimos, J. Mater. Res. 2002. vol. 17. P. 2423–2432.
8. G. Bai, Low-temperature Sintering of Nanoscale Silver Paste for Semiconductor Device Interconnection, PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, 2005.
9. «Что такое нанопорошковое серебро». [Электронный ресурс]. URL: http://silvery.com.ua/what_is_nanosilver.html. [Дата обращения: 28. 10. 2018].
10. «Размерный эффект и физико-химические свойства». [Электронный ресурс]. URL: <https://sdo.ivanovo.ac.ru/pluginfile.php>. [Дата обращения: 28. 10. 2018].