

УДК 544,7-022,532

## Свойства никеля в микро- и наноструктурах

Юань Цзэюй, Чэн Цзыхун

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
e-mail: 5501625252@qq.com

Научные руководители: Ерофеева Г.В., Гирякова Ю.Л.

**Аннотация:** Статья посвящена элементу десятой группы четвёртого периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева Ni. Отражены характерные для никеля поверхность Ферми и первая зона Бриллюэна. Приводится сравнение свойств и технологий получения никеля в микро- и наноструктурах, например, удельное электрическое сопротивление, плотность, объемная плотность, температура плавления, молярная теплоёмкость и площадь удельной поверхности. Показано, что при уменьшении диаметра кластера, температура плавления также уменьшается. Но для массивного образца диаметр не влияет на температуру плавления. Показан порядок величины длины волны де-Бройля электронов. Определен диапазон влияния размерного эффекта. Установлено одно из особых свойств наноникеля - это повышение магнитных свойств наноструктурного материала. Перечислены области применения наноструктурного никеля.

**Ключевые слова:** прямая и обратная решетки, поверхность Ферми, классический размерный эффект, нанопорошок, зона Бриллюэна.

## Properties of nickel in micro- and nanostructures

Yuan Zeyu, Cheng Zihong

National Research Tomsk Polytechnic University

e-mail: [5501625252@qq.com](mailto:5501625252@qq.com)

Scientific advisers: Erofeeva G.V, Giryakova Yu.L.

**Abstract:** The article is devoted to the element of the tenth group of the fourth period of the periodic system of chemical elements. Mendeleev Ni. The Fermi surface characteristic of nickel and the first Brillouin zone are reflected. The properties and technologies of nickel production in micro- and nanostructures, for example, specific electric resistance, density, bulk density, melting temperature, molar heat capacity and specific surface area are compared. It is shown that as the diameter of the cluster decreases, the melting temperature also decreases. But for a massive sample, the diameter does not affect the melting point. The order of magnitude of the wavelength of the de Broglie electrons is shown. The range of influence of the size effect is determined. One of the special properties of nickel is established: this is an increase in the magnetic properties of the nanostructured material. The areas of application of nanostructured nickel are listed.

**Keywords:** direct and reciprocal lattice, the Fermi surface, the classic size effect, nanopowder, Brillouin zone.

## Введение

Никель обозначается символом **Ni**. Атомный номер 28. Простое вещество никель – это пластичный, ковкий, переходный металл серебристо-белого цвета. При обычных температурах на воздухе покрывается тонкой плёнкой оксида. Имеет гранцентрированную кубическую решетку с периодом  $a = 0,35238$  нм. На рис. 1 и 2 показаны прямая и обратная решетки **Ni**.

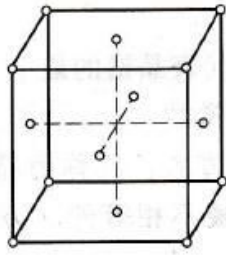


Рис. 1. Прямая решётка Ni (ГЦК)

Параметры прямой решётки

$$a^* = 2\pi/a = 0.35288 \text{ нм}$$

$$A_1 = (0.5a \quad 0.5a \quad 0)$$

$$A_2 = (0.5a \quad 0 \quad 0.5a)$$

$$A_3 = (0 \quad 0.5a \quad 0.5a)$$

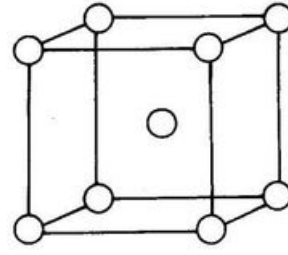


Рис. 2. Обратная решётка Ni (ОЦК)

Параметры обратной решётки

$$b^* = 2\pi/b = 217.831 \text{ нм}$$

$$B_1 = (1b \quad 1b \quad -1b)$$

$$B_2 = (1b \quad -1b \quad 1b)$$

$$B_3 = (-1b \quad 1b \quad 1b)$$

Зона Бриллюэна — это отображение ячейки Вигнера–Зейтца в обратном пространстве. В приближении волн Блоха волновая функция для периодического потенциала решётки твёрдого тела полностью описывается её поведением в первой зоне Бриллюэна (рис.3).

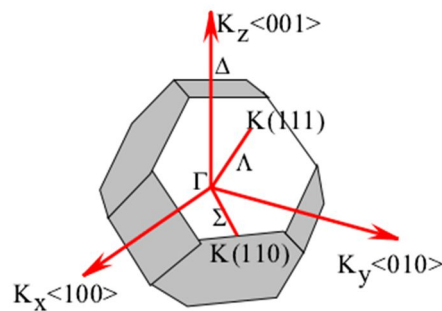


Рис. 3. Зона Бриллюэна Ni

Первая зона Бриллюэна может быть построена как объём, ограниченный плоскостями, которые отстоят на равные расстояния от рассматриваемого узла обратной решётки до соседних узлов.

На рис.4 приведена поверхность Ферми для никеля, которая является наглядной иллюстрацией поведения электронов в металлах. Картины поверхностей Ферми объясняют такие свойства металлов, как блеск, ковкость, электропроводимость и теплопроводность. Собственно металл можно определить как твердое тело, обладающее поверхностью Ферми.

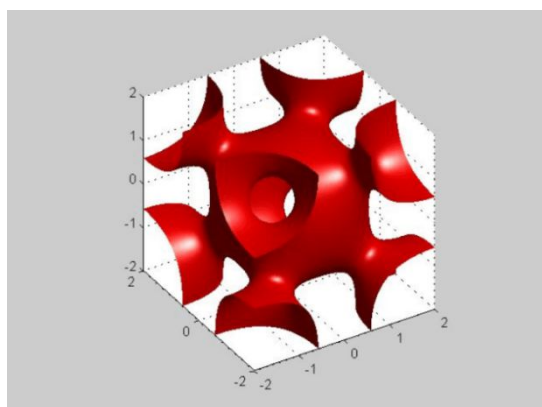


Рис. 4. Поверхность Ферми Ni

В наноструктуре никеля принимают скорость движения электрона  $v \sim 10^6$  м/с, масса электрона  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  кг, тогда длина волны де Бройля  $\lambda = h/mv = 0.7$  нм. В данном случае рассматривается порошок никеля размером  $D$  порядка 70 нм, очевидно, что  $\lambda \ll D$ . Длина волны де Бройля значительно меньше размеров наночастиц никеля, поэтому основное влияние на изменение свойств нанопорошка никеля по сравнению с микроструктурой оказывает классический размерный эффект.

Сравнение физических свойств никеля в микро- и наноструктурах показаны в таблице 1. [1]

Таблица 1. Сравнение свойств в микро- и наноструктурах для никеля

Свойства	Микроструктура	Наноструктура	Размер, нм
Удельное электрическое сопротивление, кОм*м	68,4	25	60-70
Плотность, г/см <sup>3</sup>	8,902	8.45	40
Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	нет	0,63	40
Температура плавления, °С.	1453	507	50
Молярная теплоёмкость, Дж/к. Моль	26,1	26	60-70
Площадь удельной поверхности, м <sup>2</sup> /г	$\ll 1$	11,5	40

Исходя из таблицы, наноструктурный никель характеризуется меньшим электрическим сопротивлением и плотностью, по сравнению с микроструктурой.

Температура плавления никеля резко уменьшается в результате деформации структуры под влиянием классического размерного эффекта, т.е. происходит изменение свойств наноматериалов.

Удельное электрическое сопротивление уменьшается при достижении наноразмера.

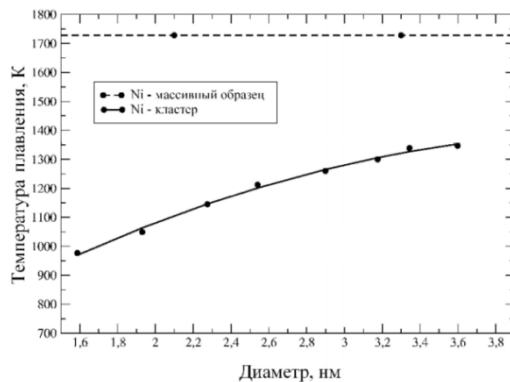


Рис. 5. Зависимость температуры плавления от диаметра кластера [2]

Отношение между температурой плавления и диаметром кластера для никеля показано на рис. 5. Когда уменьшается диаметр кластера, соответственно температура плавления также уменьшается. Но для массивного образца диаметр не влияет на температуру плавления.

В зависимости от размеров зерна различают классические и квантовые размерные эффекты. Длина де-Бройля равна около 1 нм. Для наноматериалов, где размеры частиц сравнимы с де-Бройлевской волной ( $\lambda_0=h/p$ ) характерны именно квантовые размерные эффекты. Геометрический размер наноструктуры Ni соизмерим с длиной свободного пробега носителей заряда и на изменение свойств влияет классический размерный эффект.

К особым свойствам нанопорошка никеля можно отнести магнитные свойства материала. Поскольку частицы порошка никеля имеют малый радиус и магнитные свойства, то порошок никеля используют в медицинской области в качестве носителя лекарства против рака. Пациентам вводят лекарство, включающее наночастицы Ni, которые задают точное направление. Кроме того, в результате воздействия внешнего переменного электромагнитного поля, порошок никеля повышает температуру и его можно использовать для ликвидации раковых клеток.

Кроме медицины наноструктурный никель применяют как:

### **1. Высокоэффективный окислитель**

При добавлении никелевого нанопорошка в твердое ракетное топливо можно значительно повысить теплоту сгорания, эффективность сгорания и улучшить стабильность горения.

## ***2. Электропроводящая паста***

Данная продукция широко используется в микроэлектронике для электропроводки, корпусов микросхемы, в соединениях и т.д. Она играет важную роль в миниатюризации микроэлектронных устройств. Электропроводящая паста, изготовленная из никелевого, медного и алюминиевого нанопорошка, отличается превосходными характеристиками, что, в свою очередь, способствует дальнейшей миниатюризации.

## ***3. Магнитная жидкость***

Магнитная жидкость, изготовленная из железного, кобальтового, никелевого и легированного порошка, отличается высокоэффективными характеристиками. Такая жидкость широко используется для медицинского оборудования, световых таблоидов, при регулировке звука и т.д.

## ***4. Высокоэффективный катализатор***

Благодаря большой удельной площади и высокой активности, никелевый нанопорошок создает сильный каталитический эффект. Используется для гидрогенизации органических соединений, для выхлопной системы в автомобилях и т.д. [3]

## ***5. Высокопроизводительный электродный материал***

Обработанный никелевый нанопорошок может использоваться для создания электродов с большой площадью поверхности, что значительно увеличивает эффективность разрядки. [4]

## ***6. Активная спекающаяся добавка***

Так как частицы нанопорошка отличаются большой площадью поверхности и наличием большого количества поверхностных атомов, они обладают высоким энергетическим уровнем. При довольно низкой температуре частицы нанопорошка обладают сильной способностью к спеканию. Таким образом, они представляют собой высокоэффективную спекающуюся добавку, которая способна снизить температуру спекания высокотемпературной керамической продукции и продукции порошковой металлургии.

## ***7. Электропроводящее покрытие металлов и неметаллов***

Благодаря активизированной поверхности алюминиевого, медного и никелевого нанопорошка, можно в бескислородных условиях при температуре ниже температуры плавления нанопорошка осуществлять нанесение защитного покрытия. [3]

### ***Список литературы:***

1. Сравнение физических свойств никеля в микро- и наноструктурах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru/goods/32001/> ООО «Передовые порошковые технологии»
2. Зависимость температуры плавления от диаметра кластера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.conf.mirea.ru/CD2008/pdf/m1/20.pdf>
3. Электропроводящее покрытие металлов и неметаллов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://millingsupplier.ru/12-1-nano-nickel-powder.html>

4. С.В. Матренин, Б.Б. Овечкин. Наноструктурные материалы в машиностроении: учёное пособие/ Томский политехнический университет. - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2009, 186с.