

**УДК 620.22:53:669.24-022.532-022.58**

## **ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НИКЕЛЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К НАНОСТРУКТУРАМ**

**Чэнь Суньянь<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: [3343296465@qq.com](mailto:3343296465@qq.com)*

---

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 никеля в микро- и нано-структурах, 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. Приведен порядок величины длины волны де-Бройля для никеля. Определен диапазон влияния размерного эффекта. Установлено одно из особых свойств нано-никеля – это повышение магнитных свойств нано-структурного материала. Перечислены области применения нано-структурного никеля. Порошок никеля находит применение в катализе и материаловедении; в получении эластичного слоистого электропроводящего материала; получении мелкодисперсных покрытий на керамических, кварцевых, металлических, пластмассовых, композиционных изделиях любой сложности формы; в изготовлении конденсаторов; в электронной промышленности.

В качестве эффективных катализаторов: может быть использован для органической реакции гидрирования, автомобильной очистки выхлопных газов.

Нано-никелевый порошок может быть использован в качестве наполнителя для высокой теплопроводности, антистатического наполнителя или проводящего наполнителя.

---

Ключевые слова: прямая и обратная решетки, поверхность Ферми, классический размерный эффект, нано-порошок, зона Бриллюэна.

## **CHANGE OF NICKEL PROPERTIES AT TRANSITION TO NANOSTRUCTURES**

**Chen Songyan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: [3343296465@qq.com](mailto:3343296465@qq.com)*

---

The article is devoted to the element of the tenth group of the fourth period of the periodic system of chemical elements Mendeleev (Ni). Fermi surface and the first Brillouin zone, characteristic of nickel, are reflected. A comparison is made of the properties of nickel in micro- and nano-structures, for example, electrical resistivity, density, bulk density, melting point, molar heat capacity and specific surface area. It is shown that with decreasing cluster diameter, the melting temperature also decreases. But for a bulk sample, the diameter does not affect the melting temperature. The order of magnitude of the de Broglie wavelength for nickel is given. The range of influence of the size effect is determined. One of the special properties of nano-nickel is established - this is an increase in the magnetic properties of the nano-structural material. The fields of application of nano-structural nickel are listed. Nickel powder is used in catalysis and materials science; in obtaining an elastic laminated electrically conductive material; obtaining finely dispersed coatings on ceramic, quartz, metal, plastic, composite products of any complexity of form; in the manufacture of capacitors; in the electronics industry.

As effective catalysts: can be used for the organic hydrogenation reaction, automotive exhaust gas purification.

Nano-nickel powder can be used as a filler for high thermal conductivity, an antistatic filler or a conductive filler.

---

Keywords: direct and reciprocal lattice, the Fermi surface, the classic size effect, nano-powder, Brillouin zone.

### Структура прямой и обратной решётки

При нормальных условиях никель существует как b-модификация в гранецентрированной кубической решетке ( $a = 3,5236 \text{ \AA}$ ). Однако никель с катодным напылением образует a- модификацию с наиболее плотно упакованной гексагональной решеткой ( $a = 2,65 \text{ \AA}$ ,  $c = 4,32 \text{ \AA}$ ), и при нагревании выше  $200^\circ \text{ C}$  он становится кубическим. Кубический никель имеет плотность  $8,9 \text{ г / см}^3$  ( $20^\circ \text{ C}$ ) и атомный радиус  $1,24 \text{ \AA}$  [4].

Структура прямой решетки никеля является ГЦК ( Рис.1). Её параметры:  $a = 0.35238 \text{ нм}$ .

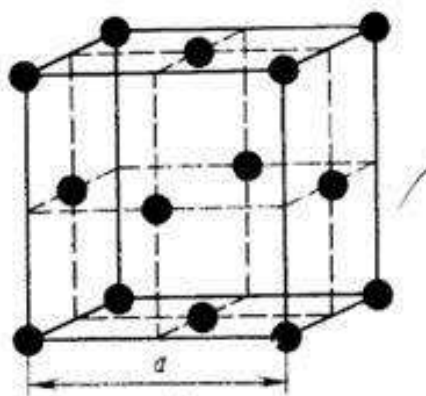


Рис.1. Структура прямой решетки никеля

Мы можем получить структуру обратной решетки никеля по примеру построения обратной решетки. Структура обратной решетки никеля является ОЦК.(Рис.2). Её параметры:  $a = 2\pi/a$ .

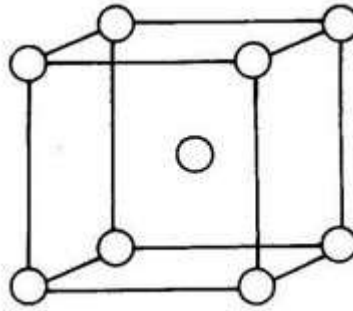


Рис.2. Структура обратной решетки никеля

### Зона Бриллюэна и поверхность Ферми

Зона Бриллюэна – отображение элементов ячейки Вигнера-Зейтца в обратном пространстве (Рис.3). В приближении блоховской волны волновая функция периодического потенциала решетки твердого тела полностью описывается ее поведением в первой зоне Бриллюэна [1, 2].

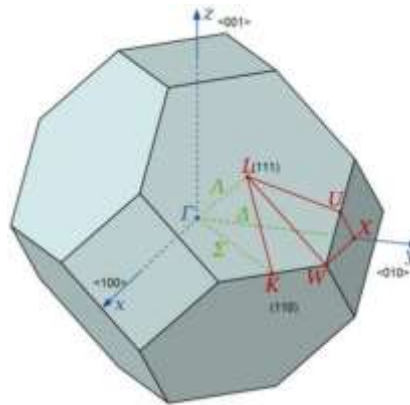


Рис 3. Зона Бриллюэна никеля

Поверхность Ферми (Рис.4) представляет собой постоянную энергетическую поверхность в  $\mathbf{k}$ -пространстве, равную энергии Ферми в металлах или вырожденных полупроводниках. Знание формы поверхности Ферми играет важную роль в общей физике металлов и вырожденных полупроводников, потому что из-за вырождения электронного газа его свойства, такие как электропроводность, зависят только от электронов вблизи поверхности Ферми. Поверхность Ферми отделяет заполненные состояния от не заполненных при абсолютном нуле температур.

Более сложная форма металлической поверхности Ферми может быть объяснена тем фактом, что несколько частично заполненных областей одновременно проходят через одну и ту же энергию Ферми по сравнению с вырожденными полупроводниками.

Основным методом экспериментального определения топологии поверхности Ферми является электромагнитное измерение [3].

Поверхность Ферми никеля является открытой.

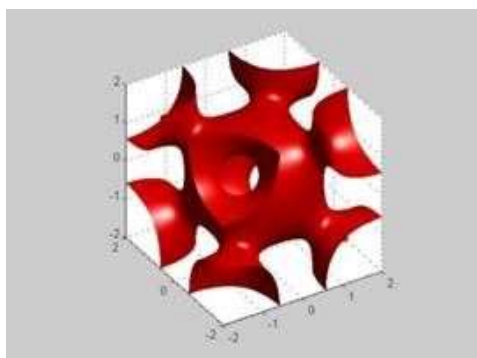


Рис.4. Поверхность Ферми никеля в нано

Изучение литературных данных по изменению свойств никеля в нано и макро-структурах позволило выявить существенные изменения свойств (таблица 1).

**Таблица 1. Сравнение свойств никеля в нано-структурах и макроструктурах**

Свойства	Макро-	Нано-	Размер (нм)	Вид материала
Удельное электрическое сопротивление, кОм·м	68,4	25	60-70	порошок
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	

Существенно уменьшается удельное электрическое сопротивление. Температура плавления уменьшилась почти на 1000 °С.

Причины изменения свойств нано-никеля заключены в действии классических размерных эффектов и приповерхностной зоны – это связано с тем, что длина волны де Бройля для металлов находится в пределах (0.1÷1) нм, что значительно меньше размеров нано-никеля (40÷70) нм. Поэтому квантовые размерные эффекты практически не оказывают влияние на изменение свойств нано-никеля

## Технология получения

Создание материалов на основе нано-размерных частиц переходных металлов, в частности, на основе нано-порошков никеля, является интенсивно развивающимся направлением современного материаловедения. Благодаря большой индукции насыщения, нано-размерные частицы никеля являются перспективным материалом для создания магнитных жидкостей, компактных композиционных материалов, используются в системах записи и хранения информации, а также нашли широкое применение в биологии и медицине [5]. В настоящее время одним из основных способов получения нано-размерного никеля является химическое восстановление из водного раствора  $\text{NiCl}_2$ . Это связано с простотой синтеза, а также возможностью варьирования условий процесса (температуры, концентрации исходных веществ, pH и др.)

Реализована методика получения нано-размерных частиц никеля из кристаллического карбоната никеля. Определена оптимальная концентрация восстановителя, установлено влияние растворов хлорида никеля малых концентраций и стадийности восстановления на формирование частиц металла.

## Применение

Уже сейчас нано-порошки никеля нашли широкое применение в качестве многофункциональных присадок к различного рода маслам, смазкам, доводочно притирочным пастам и суспензиям. Также использование нано-порошков никеля в качестве активаторов позволяет ускорить процесс спекания промышленных порошков. Введение всего (0.5 ÷ 5)% нано-никеля в промышленные смеси снижает температуру спекания на 400 ÷ 800 °С и сокращает время получения в несколько раз. При этом повышаются твердость и ударная вязкость конечной продукции. Весьма перспективно использование нано-порошков никеля в композиционных материалах, содержащих пластмассы и полимеры. В этом случае возможно изготовление пластиковых магнитов, электропроводящей резины, красок и клеев.

Порошок никеля находит применение в катализе и материаловедении; в получении эластичного слоистого электропроводящего материала; получении мелкодисперсных покрытий на керамических, кварцевых, металлических, пластмассовых, композиционных изделиях любой сложности формы; в изготовлении конденсаторов; в электронной промышленности.

В качестве эффективных катализаторов: нано-никелевый порошок имеет сильный каталитический эффект, может быть использован для органической реакции гидрирования,

автомобильной очистки выхлопных газов.

Нано-никелевый порошок может быть использован в качестве наполнителя для высокой теплопроводности, антистатического наполнителя или проводящего наполнителя.

Нано-никель в виде порошка имеет сильную возможность поглощать электромагнитные волны и может быть использован в военных целях как покрытие.

Для эффективного сгорания топлива: добавление порошка nano-размерного никеля в твердое ракетное топливо может значительно повысить теплоту сгорания топлива, эффективность сгорания и улучшить стабильность сгорания.

### **Литература:**

1. Свойства элементов //Металлургия: Под ред. Дрица М.Е. –1985. – 672 с. [С. 484-489].
2. Пичугин В.Ф. Теория и свойства кристаллов и неупорядоченных материалов: Учебное пособие. / Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 273 с.
3. Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нано-технологий. – М: Физмат лит. – 2009. – 456 с.
4. Michael E. Wieser, Norman Holden, Tyler B. Coplen, John K. Böhlke, Michael Berglund, Willi A. Brand, Paul De Bièvre, Manfred Gröning, Robert D. Loss, Juris Meija, Takafumi Hirata, Thomas Prohaska, Ronny Schoenberg, Glenda O'Connor, Thomas Walczyk, Shige Yoneda, Xiang Kun Zhu. Atomic weights of the elements 2011 (IUPAC Technical Report) (англ.) // Pure and Applied Chemistry. – 2013. – Vol. 85. – №. 5. – pp. 1047-1078. – DOI:10.1351/PAC-REP-13-03-02.
5. Gubin SP Retrieving, stroenie meterialov and properties of magnetic nanoparticles on the base / J.V. Gubin, Yu.L. Koksharov -Neorg. – Materials – Vol. 38. – № 11. – 2002. – pp. 1287-1304.