

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛОТА В МИКРО- И НАНОСТРУКТУРАХ

Ли Сятун, Чжу Юаньсин, Чжан Юймин, Сунь Тяньи

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

Email: 2312701251@qq.com

В статье представлены: обобщённая информация о наночастицах золота и их применении в разных областях: от теоретических разработок до практического использования. Например, указаны параметры решетки (прямая типа ГЦК, и обратная типа ОЦК), зона Бриллюэна, поверхность Ферми, приведены сравнительные характеристики золота в микро- и нано-структурах. Указаны физические причины и влияние размерных эффектов для золота при разных размерах. При изменении размеров до 2 нанометров уменьшается температура плавления золото с $1064,18^{\circ}\text{C}$ до 327°C , при изменении размеров до 28 нанометров резко уменьшается плотность с $19,32\text{г/см}^3$ до $0,85\text{г/см}^3$. Приведены способы получения наноматериалов золота (2 метода химического синтеза: диспергационного (физического) и конденсационного (химического)). Перечислено применение наноматериалов золота в разных областях.

Ключевые слова: золото, наноструктура, характеристика.

COMPARE CHARACTER OF GOLD IN NANO WITH MICROCOSMIC

Li Xiatong, Zhu Yuanxing, Zhang Yuming, Sun Tianyi

National Research Tomsk Polytechnic University

Supervisor: Erofeeva G.V., Giryakova Yu.L.

Email: 2312701251@qq.com

The article presents generalized information about gold nanoparticles and their application in different fields: from theoretical developments to practical applications. For example, the type and lattice parameters (a direct type of FCC, reverse type of BCC), the Brillouin zone, the Fermi surface, the comparative characteristics of gold in micro- and nanostructures. Especially comparing of the quantum and classical dimensional effects for gold at different sizes. When the size is changed to 2 nanometers, the melting point of gold decreases from 1064.18°C to 327°C , and the density decreases from 19.32g/cm^3 to 0.85g/cm^3 , when the size is changed to 28 nanometers. And also introduce the methods of technical obtaining of nanomaterials of gold (2 methods of chemical synthesis: dispersive (physical) and condensation (chemical)). At the end, list the applications of nanomaterials of gold in different areas.

Key words: gold, nanostructure, properties.

Золото — элемент 11 группы, шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 79. Обозначается символом **Au**. Простое вещество золото — благородный металл жёлтого цвета. Золото обладает прямой ГЦК решеткой (на рис.1а), параметр решетки - 4.0782Å , обратной решеткой ОЦК (на рис.1б), параметр решетки - $1.5407 \cdot 10^{10} / \text{м}$.

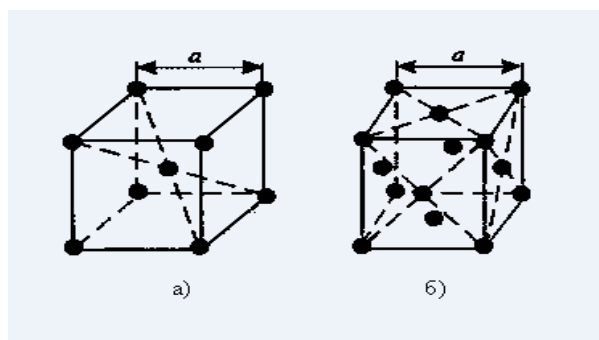


Рис.1. Прямая а) и обратная б) решетки золота

Зона Бриллюэна — 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.[2] Первая зона Бриллюэна показана на рис.2

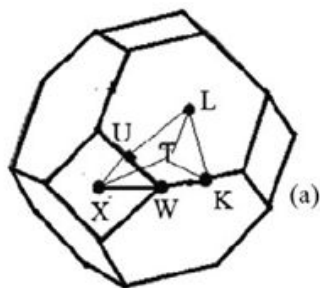


Рис.2. Первая зона Бриллюэна.

Ферми поверхность (ФП) - изоэнергетическая поверхность в пространстве квазиимпульсов, отделяющая область занятых электронных состояний металла от области, в которой при $T = 0$ К электронов нет. Электроны, расположенные на ФПи в узкой области пространства квазиимпульсов вблизи неё, ответственны за свойства металлов.

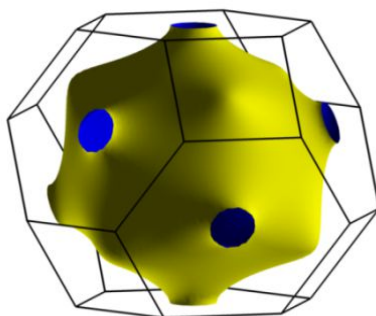


Рис.3. Поверхность Ферми[1].

Ферми поверхность золота показана на рис. 1, в связи с высокой концентрацией электронов проводимости в металле, уровни в зоне проводимости полностью заполнены. Для «газа свободных электронов» ФП – сфера. Объем, ограниченный ФП (приходящийся на 1

Золото	Микроструктура	Наноструктура	
Температура плавления	1064,18° С[3]	2 нм	327 ° С[4]
		10нм	1037.18° С
Плотность[5]	19,3-19,32г/см ³	0.85 г/см ³ (28нм)	
Теплоемкость[6]	0.129 кДж/(кг·К)	0,104 кДж/(кг·К)	
Температура Дебая[7]	162,3 К	1,0нм	149.316К
		2,0нм	111.987К
		10,0нм	161.4885К
Теплопроводность [8]	318 Вт/(м·к).	129.8Вт/(м·к).(180К,5.6мкм*455нм* 23нм)	

элементарную ячейку в пространстве квазиимпульсов), определяется концентрацией n электронов проводимости в металле: $2\Omega_F/(2\pi\hbar)^3 = n$.

Открытые полости определяют многие квантовые свойства металлов в магнитном поле (например, эффект де Хааза-Ван-Альфена).

Особый интерес представляют изменяющиеся свойства золота в зависимости от структуры (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная таблица свойства для микро и наноструктуры.

Из сравнения параметров Au в нано- и микроструктурах следует, что температура плавления Au существенно уменьшается при переходе к наноразмеру от 2 до 10 нм, как показано на рис.4.

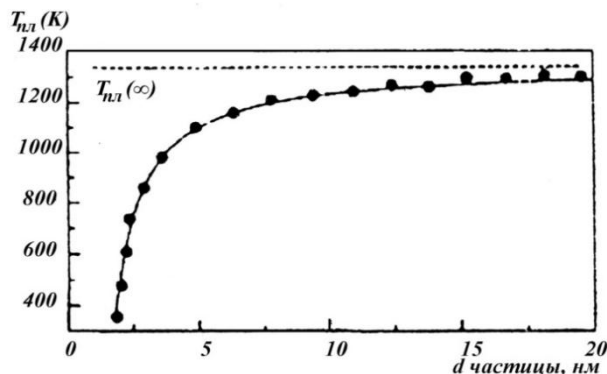


Рис 4.Изменение температуры плавления Au в наноразмере от 2 до 10нм.

Существенно изменяется плотность для размеров наноструктуры 28нм. Значительно уменьшается температура Дебая для размеров 2нм.

Коэффициент теплопроводности увеличивается при увеличении температуры.

Кроме того, спектры поглощения наноразмерного золота сильно изменяются с изменением размеров частиц. Процент отражения света меньше 10%.

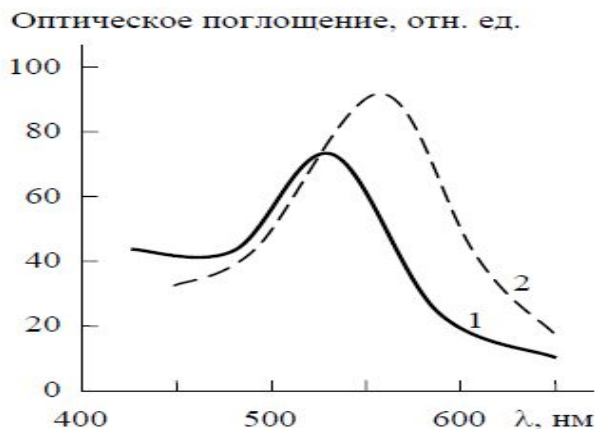


Рис.5. Влияние размера частиц Au на спектр поглощения стекла: 1-20 нм; 2-80 нм.

Поскольку размеры наноструктуры (1-2нм) сравнимы с длиной волны Де-Бройля (0,1-1нм) можно отметить, что основное влияние на изменение свойств Au в наноструктуре оказывают квантовые размерные эффекты. В то же время на свойства наноматериала оказывают влияние и классические размерные эффекты. Соответственно возникают новые термические, оптические, магнитные, и механические свойства. [9]

Технологии получения

Наноструктурное золото можно получить 2 методами химического синтеза: диспергационного (физического) и конденсационного (химического). Диспергационные методы основаны на разрушении кристаллической решётки золота физическими методами, в основном, при помощи электрической дуги. Конденсационные методы наиболее часто основаны на восстановлении галогенидов золота при помощи химических восстановителей и/или облучения.

Применение

Область применения для наноструктурного золота стремительно растёт, т.к. золото обладает большим набором особых свойств, и включает в себя:

1. Электроника - золотые наночастицы предназначены для использования в качестве проводников от печатных красок для электронных чипов. Поскольку мир электроники становится все меньше, наночастицы являются важными компонентами в разработке чипа.

Наноразмерные частицы золота используются для подключения резисторов, проводников и других элементов электронного чипа.

2. Датчики - золотые наночастицы используются в различных датчиках. Так, например, колориметрический датчик на основе наночастиц золота может определить, пригодны ли для потребления пищевые продукты.

3. Зонды - наночастицы золота рассеивают свет и демонстрируют множество интересных цветов в темном поле просвечивающего электронного микроскопа. Рассеянные цвета наночастиц золота в настоящее время используются для применения биологических изображений.

4. Катализ - наночастицы золота используются в качестве катализаторов в ряде химических реакций. Поверхность наночастицы золота может быть использована для селективного окисления или в некоторых случаях поверхность может уменьшить реакцию (оксиды азота). Золотые наночастицы разрабатываются для применения в топливных элементах. Эти технологии будут полезны в автомобилестроении и индустрии дисплеев.

5. Диагностика — это та область, в которой использование золотых нанотехнологий может просто перевернуть современные понятия о медицине. Быстродействующие и недорогие тесты, основанные на нанотехнологиях с применением золота, позволяют проводить обследования пациентов на предмет наличия в организме различных заболеваний, имеющих плохоразличимые симптомы на ранних стадиях развития или, например, быстро обнаружить СПИД. Скорость в этом вопросе крайне важна — чем быстрее болезнь обнаружена, тем эффективнее и дешевле будет лечение.

5. Золото и охрана окружающей среды

Проблема охраны окружающей среды еще никогда не стояла острее, чем в настоящее время. В ближайшем будущем человечеству придется столкнуться лицом к лицу с рядом острейших проблем, таких как: увеличение населения планеты; постоянно возрастающие энергетические потребности; глобальное потепление и т.д. Применение технологии золотых наночастиц на этом фоне выглядит крайне многообещающе — с помощью нее появляется возможность решения довольно серьезных вопросов: от экологически чистого производства, до контроля за загрязнением и очистки воды.

6. Качество воздуха. С каждым годом увеличивается процентное содержание угарного газа (СО) в атмосфере Земли. Использование наночастиц золота способствует необходимому окислению опаснейшего СО в менее токсичное вещество. Примером применения подобного

подхода является то, что некоторые компании разработали специальные респираторы, используемые в чрезвычайных ситуациях: на пожарах, в шахтах при отравлении рабочих оксидом углерода и некоторых других.

Очистка воды. К одним из самых распространенных веществ, загрязняющих воду, относятся тяжелые металлы, пестициды и галогенизированная органика, из-за которых миллионы людей по всему миру постоянно находятся под угрозой отравления питьевой водой. В последние годы наметилось значительное увеличение объема применения технологии золотых наночастиц при очистке воды и выявлении ее загрязнения. Более того, золото в таких случаях может выступать как эффективный абсорбент для удаления из воды ртути. В сфере охраны окружающей среды нанотехнологии, основанные на золоте, используются также для создания более надежных топливных баков, остекления и разработки новых солнечных батарей.[10]

Литература:

[1] Зона Бриллюэна, Published in Synthesis and characterization of dodecanethiol-stabilized gold nanoparticles.

[2] Фермиповерхность :(Fermi Surface by Dmitrii Nabok & Caterina Cocchi for exciting *boron*) .

[3] Золота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BE>.

[4] Н. А. Азаренков, А. А. Веревкин, Г. П. Ковтун, С. В. Литовченконанотехнологии и - страница №2-10.

[5] Основные понятия о золоте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BE#.D0.A4.D0.B8.D0.B7.D0.B8.D1.87.D0.B5.D1.81.D0.BA.D0.B8.D0.B5_.D1.81.D0.B2.D0.BE.D0.B9.D1.81.D1.82.D0.B2.D0.B0.

[6] Теплоёмкость золота [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://900igr.net/prezentacija/istorija/udelnaja-teplojomkost-151376/udelnaja-teplojomkost-nekotorykh-veschestv-dzh-kg-4.html>.

[7] Калмыков Р. М. Особенности тепловых свойств наночастиц // Молодой ученый. — 2012. — №2. — С. 7-10.

[8]. Плотность золота наноструктуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.us-nano.com/inc/sdetail/133

[9]. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. –М.: Университетская книга, 2008. -188с.

[10]. Перевод с англ. С.С. Верховина, Золото и нанотехнологии в эпоху инноваций, // ОАО «Иргиредмет» (по материалам /1/) Золотодобыча, №143, Октябрь, 2010