сам фотон, обязан своим существованием взаимодействию между элементарными частицами и их антиподами.

Таким образом, различные теории существования и реальности кварков и взаимодействия элементарных частиц могут быть определены только экспериментальным способом. К сожалению, математическая физика не может полностью доказать и объяснить все взаимодействия между частицами и внутри их. Некоторые теории, такие, как теория поля, имеют хорошую перспективу для объяснения взаимодействий, но все же есть некоторые недочеты в ее объяснении и доказательстве. Только исследования в современных коллайдерах могут экспериментально доказать или опровергнуть все существующие теории.

1. Трофимова Т.И «Курс физики» 11-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
2. Бондаренко Е.А. Материя: основное положение теории строения элементарных частиц и полевая теория строения элементарных частиц. // Проблемы науки. - 2017. № 10 (23). - С. 21-37
3. Покровский В. Три кварка, три кварка, три кварка // В мире науки. – 2016. - №3. – С.10-13.
4. Горунович В.А. Полевая теория строения элементарных частиц». http://vladimirgorunovich.narod.ru/index/polevaja_teorijaelementarnykh_chastic_osnovnye_polozhenija/0-2

Юров В.М., Гученко С.А., Завацкая О.Н.

К вопросу об образовании высокоэнтروпийных сплавов d-элементов

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова
(Казахстан, Караганда)*

doi: 10.18411/lj-06-2019-159

idsp: ljjournal-06-2019-159

Аннотация

Для формирования высокоэнтропийных сплавов базовыми являются d – элементы. Сравнение таблицы 1 с высокоэнтропийными сплавами показывает их большое сходство. Если провести сравнение с лантаноидами, то можно заметить существенные отличия. Особенно проявляются отличия в количестве монослоев R в слое d(I) лантаноидов. Нужно отметить, что высокоэнтропийные сплавы в состав лантаноидов не наблюдались.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы, размерный эффект, наноструктура, монослой, поверхностный слой.

Abstract

For the formation of high-entropic alloys, d-elements are basic. Comparison of table 1 with high-entropy alloys shows their great similarity. If we make a comparison with the lanthanides, then you can notice significant differences. The differences in the number of monolayers R in the d (I) layer of lanthanides are especially pronounced. It should be noted that high-entropy alloys in the composition of the lanthanides were not observed.

Keywords: high-entropy alloys, size effect, nanostructure, monolayer, surface layer.

По мнению авторов [1] - отличительной особенностью высокоэнтропийных сплавов (ВЭСов) от традиционных является то, что эти сплавы имеют высокую энтропию смешения, которая влияет на образование структур на основе твердых растворов. Между тем в отношении роли этого параметра имеется противоречивая информация (см. библиографию в [2]).

Исходя из анализа литературных данных, в настоящее время не существует универсального параметра и/или их сочетания, которые могли бы точно предсказывать образование той или иной структуры в многокомпонентных системах сплавов. Мы не

будем рассматривать все факторы, определяющие формирование той или иной кристаллической структуры. Более полный обзор можно найти в работах [2, 3].

Мы будем рассматривать только d-электроны. Для них мы выберем температуру плавления, поверхностную энергию, толщину поверхностного слоя и число атомов, находящихся вблизи поверхности d металлов.

Обычно переходные элементы делят на d-элементы, лантаниды (или 4f-элементы) и актиниды (5f-элементы). Между этими тремя группами имеются значительные различия. У d-элементов идет заполнение nd-орбиталей: 3d-, 4d-, 5d-, 6d-. Любые d-орбитали в пространстве выходят далеко за пределы атома или иона, поэтому электроны на них подвергаются сильному воздействию координационного окружения. Одновременно сами d-электроны сильно влияют на соседние атомы и ионы.

В атомах переходных металлов энергии свободных пр-орбиталей близки к энергиям занятых электронами валентных ns- и (n-1)d-орбиталей. Поэтому связи с лигандами образуются с участием атомных орбиталей всех типов. Это обуславливает особую природу химических связей в соединениях переходных металлов. Их иногда называют координационными связями.

В работе [4] обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов. Схематически эта модель представлена на рис. 1.

Поверхностный слой атомарно-гладкого металла состоит из двух слоев – d(I) и d(II). Слой толщиной $h=d$ назван слоем (I), а слой при $h \approx 10d$ – слоем (II) атомарно-гладкого кристалла (рис. 1). При $h \approx 10d$ начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала. При $h=d$ в поверхностном слое происходит фазовый переход. Он сопровождается резкими изменениями физических свойств, например, прямой эффект Холла-Петча меняется на обратный [5].

Рисунок 1 - Схематическое изображение поверхностного слоя [5]

Значения слоя d(I) для некоторых металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Толщина поверхностного слоя d(I) некоторых чистых металлов [4]

Me	d, nm	Me	d, nm	Me	d, nm	Me	d, nm	Me	d, nm	Me	d, nm
Li	0.7	Sr	5.8	Sn	1.4	Cd	1.3	Fe	2.2	Gd	5.3
Na	1.5	Ba	6.2	Pb	1.8	Hg	0.6	Co	2.0	Tb	5.3
K	2.6	Al	1.5	Se	1.3	Cr	2.7	Ni	1.9	Dy	5.3
Rb	2.9	Ga	0.6	Te	2.5	Mo	4.6	Ce	3.8	Ho	5.5
Cs	3.6	In	1.1	Cu	1.6	W	5.8	Pr	4.2	Er	5.5
Be	1.3	Tl	1.9	Ag	2.2	Mn	2.0	Nd	4.5	Tm	5.2
Mg	2.2	Si	3.4	Au	2.3	Tc	3.6	Sm	4.4	Yb	4.6
Ca	4.9	Ge	2.8	Zn	1.1	Re	4.6	Eu	5.8	Lu	5.7

В табл. 2 приведены: температура плавления, поверхностная энергия, толщина поверхностного слоя и число атомов, находящихся вблизи поверхности d – металлов

(за исключением атомов 7-го периода). В табл. 3 и 4 приведены значения некоторых ВЭСов. Это ВЭСы состоящие из 5 и 6 компонент. Сравнение табл. 1 с табл. 3 и 4 показывает их большое сходство.

Таблица 2

Параметры d – металлов из периодической таблицы

Me	T_m, K	$\sigma, Дж/м^2$	$d(I), нм$	R	Me	T_m, K	$\sigma, Дж/м^2$	$d(I), нм$	R
Sc	1814	1.270	2.6	$a/c=8/5$	Fe	1812	1.268	1.2	4
Y	1795	1.257	3.4	$a/c=9/6$	Ru	2607	1.825	1.4	$a/c=5/3$
Ti	1943	1.360	1.7	$a/c=6/4$	Os	3306	2.314	1.4	$a/c=5/3$
Zr	2125	1.488	2.2	$a/c=7/4$	Co	1788	1.251	0.7	$a/c=3/2$
Hf	2506	1.754	2.3	$a/c=7/5$	Rh	2256	1.579	1.4	4
V	2160	1.526	1.7	6	Ir	2739	1.917	1.4	4
Nb	2741	1.919	1.8	5	Ni	1726	1.208	1.1	3
Ta	3290	2.282	1.8	5	Pd	1837	1.286	1.5	4
Cr	2130	1.491	1.2	4	Pt	2041	1.429	1.6	4
Mo	2623	1.836	1.6	5	Cu	1356	0.949	1.6	4
W	3895	2.727	1.6	5	Ag	1235	0.865	1.7	4
Mn	1517	1.062	1.3	4	Au	1337	0.936	1.8	4
Tc	2430	1.701	1.4	8	Zn	693	0.485	2.0	$a/c=8/5$
Re	3459	2.421	1.3	9	Cd	594	0.416	2.2	$a/c=7/4$

Таблица 3

Параметры d и R некоторых ВЭСов

CoCrFeNiMn	TaNbHfZrTi	VCuFeCoNi
Co – $d = 2.0$ $R = a/c=8/5$	Ta – $d = 1.8$ $R = 6$	V – $d = 1.4$ $R = 5$
Cr – $d = 2.7$ $R = 9$	Nb – $d = 1.8$ $R = 6$	Cu – $d = 1.6$ $R = 4$
Fe – $d = 2.2$ $R = 8$	Hf – $d = 2.3$ $R = a/c = 7/5$	Fe – $d = 2.2$ $R = 8$
Ni – $d = 1.9$ $R = 5$	Zr – $d = 3.5$ $R = 7$	Co – $d = 2.0$ $R = a/c=8/5$
Mn – $d = 2.0$ $R = 2$	Ti – $d = 1.8$ $R = 6/4$	Ni – $d = 1.9$ $R = 5$

Если провести сравнение с лантаноидами то можно заметить существенные отличия (табл. 5).

Таблица 4

Параметры d и R некоторых ВЭСов

$Ti_2CrCuFeCoNi$	ZrTiVCuNiBe	AlTiVYZr
Ti – $d = 1.8$ $R = 6/4$	Zr – $d = 3.5$ $R = 7$	Al – $d = 1.5$ $R = 4$
Cr – $d = 2.7$ $R = 9$	Ti – $d = 1.8$ $R = 6/4$	Ti – $d = 1.8$ $R = 6/4$
Cu – $d = 1.6$ $R = 4$	V – $d = 1.4$ $R = 5$	V – $d = 1.4$ $R = 5$
Fe – $d = 2.2$ $R = 8$	Cu – $d = 1.6$ $R = 4$	Y – $d = 2.0$ $R = 6/3$
Co – $d = 2.0$ $R = a/c=8/5$	Ni – $d = 1.9$ $R = 5$	Zr – $d = 3.5$ $R = 7$
Ni – $d = 1.9$ $R = 5$	Be – $d = 1.3$ $R = a/c=5/4$	-

Таблица 5

Толщина поверхностного слоя $d(I)$ лантаноидов

Me	$d(I), нм$	Me	$d(I), нм$	Me	$d(I), нм$
Ce	3.8	Eu	5.8	Er	5.5
Pr	4.2	Gd	5.3	Tm	5.2
Nd	4.5	Tb	5.3	Yb	4.6
Pm	4.4	Dy	5.3	Lu	5.7
Sm	4.4	Ho	5.5	-	-

Таблица 6

Количество монослоев R в слое d(I) лантаноидов

Me	R	Me	R	Me	R
Ce	7	Eu	13	Er	$a/c=15/10$
Pr	$a/c=11/4$	Gd	$a/c=15/9$	Tm	$a/c=15/9$
Nd	$a/c=12/4$	Tb	$a/c=15/9$	Yb	8
Pm	$a/c=12/4$	Dy	$a/c=15/9$	Lu	$a/c=16/10$
Sm	$a/c=12/1$	Ho	$a/c=15/10$	-	-

Особенно проявляются отличия в количестве монослоев R в слое d(I) лантаноидов (табл. 6).

Нужно отметить, что ВЭСы в составе лантаноидов не наблюдались. Это связано, видимо, с большими параметрами кристаллической решетки лантаноидов.

Если за основу брать размерную зависимость какого-либо свойства (длина свободного пробега электрона, фонона, магнона и т.п.), то будем иметь множество размерных эффектов. Однако все эти эффекты разыгрываются в области размеров d(I) или d(II), которые определяются одним параметром – атомным объемом вещества v , который играет фундаментальную роль и периодически изменяется в соответствии с периодическим законом Д.И. Менделеева.

Благодарность

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // Materials Science Forum. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.
2. Шайсултанов Д.Г. Структура и механические свойства высокоэнтروпийных сплавов системы CoCrFeNiX (X=Mn, V, Mn и V, Al и Cu). - Дисс. канд. тех. наук, Белгород, 2015. – 142 с.
3. Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Фирстов С.А. Высокоэнтропийные сплавы - электронная концентрация - фазовый состав - параметр решетки – свойства // ФММ, 2017. Vol. 118. №10. – С. 1017-1029.
4. Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч. Толщина поверхностного слоя, поверхностная энергия и атомный объем элемента // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2018. □ Вып. 10. – С. 691-699.
5. Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А. Некоторые вопросы физики прочности металлических наноструктур // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2013. Вып. 5. - С. 408-412.

Юров В.М., Гученко С.А.

Коэффициенты трения высокоэнтропийных сплавов CrNiTiZrCu

*Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова
(Казахстан, Караганда)*

doi: 10.18411/lj-06-2019-160

idsp: ljjournal-06-2019-160

Аннотация

Показано, что уменьшение коэффициента сухого трения возможно за счет уменьшения поверхностной энергии. При этом используются пары трения, у которых значительно различается работа выхода электронов. Это приводит к различию в контактной разности потенциалов и, соответственно, к уменьшению поверхностной энергии. Показано, что коэффициент трения зависит от фрактальной структуры поверхности многих твердых тел и это является их характерным свойством.

Ключевые слова: трение, износ, поверхность, энтропия, фрактал.