

УДК 546.657·87:669.0.17.1

Н.Ш.Холов, В.Д.Абулхаев, академик АН Республики Таджикистан И.Н.Ганиев,

Х.Х.Назаров

## СИНТЕЗ, МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ Nd-Vi

Диаграмма состояния системы Nd-Vi ранее была исследована в полном диапазоне концентраций методами дифференциального термического, рентгенофазового и металлографического анализов в [1, 2]. По нашим данным [2] в системе Nd-Vi образуются пять соединений:  $Nd_2Vi$ ,  $Nd_5Vi_3$ ,  $Nd_4Vi_3$ ,  $NdVi$ ,  $NdVi_2$ , которые при  $1553\pm 15$ ,  $1723\pm 15$ ,  $1838\pm 15$ ,  $933\pm 15$  К соответственно плавятся инконгруэнтно. Моновисмутид –  $NdVi$ , плавящийся при  $2093\pm 20$  К конгруэнтно, является самым тугоплавким соединением системы Nd-Vi.

Из обзора научной литературы следует, что химические и физические свойства соединений системы Nd-Vi изучены крайне мало. Так, в [3] исследовали магнитные свойства сплавов системы Nd-Vi. Однако данные указанной работы вряд ли можно считать достоверными, поскольку изучению подвергались в основном негомогенные сплавы.

Цель данной работы – синтез и исследование магнитных свойств сплавов и соединений системы Nd-Vi в диапазоне температур 298-773 К.

Исходными материалами при синтезе сплавов и соединений системы Nd-Vi были неодим марки Нд-2 (чистота 99.98 мас.%) и висмут марки ОСЧ-4-11 (чистота 99.999 мас.%). Сплавы синтезировали следующим образом. Порошки исходных компонентов – неодима и висмута (массой 5-8 г) заданного состава спрессовывали, помещали в герметичный молибденовый тигель и медленно нагревали (со скоростью 5 град/мин) в среде гелия марки “ВЧ”. Оптимальные температуры синтеза сплавов составляли:

Vi, ат.%	1-20	25-35	37.5-40	42.86-50	55-80
T, К	837	1193	1453	1653	853

При указанных температурах сплавы выдерживали в течение 10-12 ч. Сплавы, содержащие более 80 ат.% Vi, были получены непосредственно сплавлением исходных компонентов.

Гомогенность полученных сплавов и индивидуальность соединений устанавливали рентгенофазовым (РФА), металлографическими методами анализов, а также измерением плотности. РФА соединений проводили на дифрактометре типа «ДРОН-2», а металлографический анализ на приборе «Neofot-21». Микротвердость кристаллов измеряли на приборе

ПМТ-3. Плотность соединений измеряли пикнометрическим методом по стандартной методике.

Таблица 1

Кристаллохимические параметры соединений системы Nd-Bi

Соединения	Сингония	Структурный тип	Параметр элементарной ячейки, ±0.0005 нм		
			a	b	c
Nd <sub>2</sub> Bi	тетрагон.	Ti <sub>2</sub> P	0.4532		1.7872
Nd <sub>5</sub> Bi <sub>3</sub>	гексагон.	Mn <sub>5</sub> Sb <sub>3</sub>	0.9370		0.6528
Nd <sub>4</sub> Bi <sub>3</sub>	кубич.	анти-Th <sub>3</sub> P <sub>4</sub>	0.9552		
NdBi	кубич.	NaCl	0.6428		
NdBi <sub>2</sub>	ромбич.	LaSb <sub>2</sub>	0.6470	1.2982	1.1864
Соединения	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Микротвердость, МПа		
	пикнометрическая	рентгеновская			
Nd <sub>2</sub> Bi	8878	8880	2100-2200		
Nd <sub>5</sub> Bi <sub>3</sub>	8988	9015	4150-4980		
Nd <sub>4</sub> Bi <sub>3</sub>	9126	9170	3400-3750		
NdBi	8814	8828	1000-1080		
NdBi <sub>2</sub>	7487	7492	1170-1210		

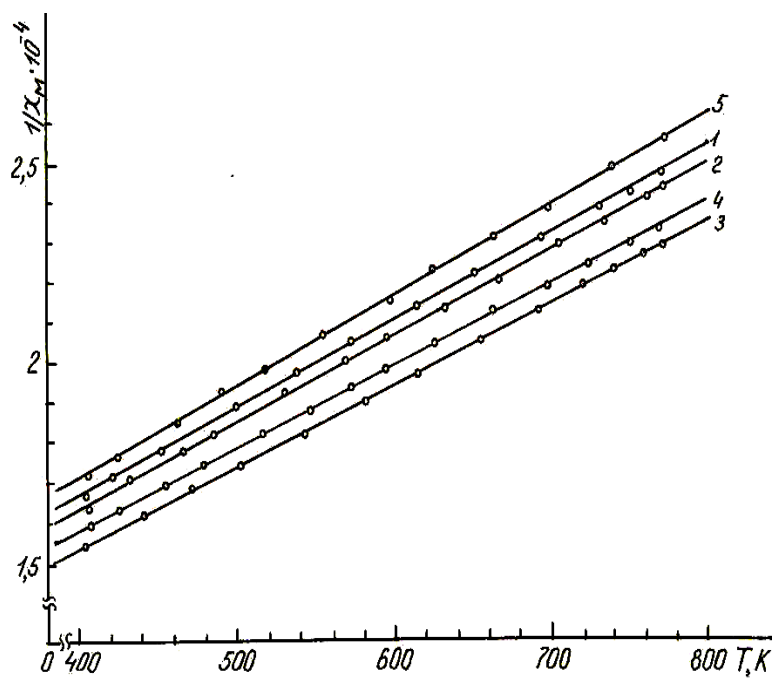
Температурную зависимость магнитной восприимчивости в диапазоне 298-773 К измеряли на установке, описанной в [4]. При этом погрешность измерения магнитной восприимчивости составляла ±3%.

Подтверждено образование в системе Nd-Bi пяти соединений, кристаллизующихся, по данным РФА, в четырех сингониях – тетрагональной, гексагональной, кубической и ромбической (табл.1).

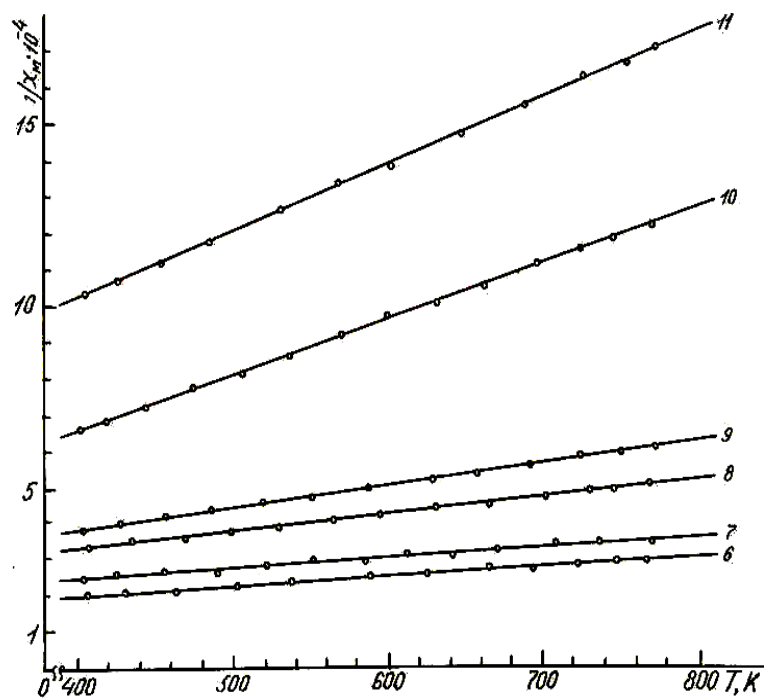
Таблица 2

Магнитные свойства сплавов и соединений системы Nd-Bi

Содержание висмута в сплавах и соединениях, ат. %.	Фазовый состав	Молярная магнитная восприимчивость, $\chi_m \cdot 10^6$ при 298 К	Парамагнитная температура Кюри, $\theta_p$ , К	Эффективный магнитный момент, $\mu \cdot 10^{24}$ , А·м <sup>2</sup>
10	Nd <sub>2</sub> Bi+эвтектика	6913.8	62	33.48
20	Nd <sub>2</sub> Bi+эвтектика	7038.2	68	33.38
33.3	Nd <sub>2</sub> Bi	7510.7	78	33.20
37.5	Nd <sub>5</sub> Bi <sub>3</sub>	7299.2	72	33.66
42.8	Nd <sub>4</sub> Bi <sub>3</sub>	6801.9	56	33.66
50	NdBi	6451.6	42	33.66
60	NdBi + NdBi <sub>2</sub>	4385.6	28	31.06
66.6	NdBi <sub>2</sub>	6060.6	21	25.5
70	NdBi <sub>2</sub> + Bi <sub>ТВ.р.</sub>	2986.4	16	24.01
80	NdBi <sub>2</sub> + Bi <sub>ТВ.р.</sub>	1984.6	11	19.75
90	NdBi <sub>2</sub> + Bi <sub>ТВ.р.</sub>	1210.4	4	14.74



(a)



(б)

**Рис.** Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости сплавов системы Nd-Bi в диапазоне температур 400-773 К (а, б), содержащих: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 33.3 (Nd<sub>2</sub>Bi), 4 – 37.5 (Nd<sub>3</sub>Bi<sub>3</sub>), 5 – 42.8, 6 – 50, 7 – 60, 8 – 66.6(NdBi<sub>2</sub>), 9 – 70, 10 – 80, 11 – 90 ат.% Bi.

Исследование магнитных свойств показало, что в диапазоне 298-773 К температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости сплавов системы Nd-Bi следует закону Кюри-Вейсса в виде  $\chi = C/T - \theta_p$  ( $\chi$  - магнитная восприимчивость, C - константа Кюри,  $\theta_p$  - константа Вейсса или парамагнитная температура Кюри), характерного парамагнитным веществам. В качестве примера на рис. а, б приведена температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости сплавов и соединений системы Nd-Bi в диапазоне 400-773 К.

Парамагнитную температуру Кюри ( $\theta_p$ ) (табл. 2) сплавов и соединений определяли графически, путем экстраполяции линейной части зависимости  $1/\chi_m(T)$  к оси температуры. Разброс экстраполированных значений  $\theta_p$  4-6 образцов одного и того же состава не превышал 3-4%. Как видно из табл. 2, в диапазоне концентраций 10-33.3 ат.% Bi молярная магнитная восприимчивость и парамагнитная температура Кюри сплавов растет, а в диапазоне 37,5-90 ат.% Bi наблюдается их уменьшение. Это свидетельствует о том, что с увеличением концентрации висмута в соединениях ослабевают парамагнитные свойства соединений, связанные с уменьшением доли металлической связи Nd - Nd в их структуре.

Полученные данные по молярной магнитной восприимчивости и парамагнитной температуре Кюри сплавов системы Nd-Bi были использованы для определения эффективного магнитного момента иона неодима с целью оценки его заряда. Эффективный магнитный момент иона неодима в сплавах рассчитывали по формуле [5]:

$$\mu_{\text{эфф.}} = 26.24 \cdot 10^{-24} [\chi_m \cdot (T - \theta_p)]^{1/2} \text{ А} \cdot \text{м}^2,$$

где  $\chi_m$  - молярная магнитная восприимчивость сплава в расчете на один атом неодима. Рассчитанные таким образом значения эффективного момента иона неодима в сплавах системы Nd - Sb оказались достаточно близки к таковым, вычисленным по правилу Хунда для основного мультиплетного состояния трехзарядного положительного иона неодима ( $33.47 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ) по формуле [6]:

$$\mu = g \cdot [J \cdot (J+1)]^{1/2} \text{ А} \cdot \text{м}^2,$$

где g - фактор Ланде (фактор основного состояния), J - результирующий момент количества движения иона основного состояния.

Таким образом, проведенные исследования указывают на то, что в сплавах и соединениях неодима с висмутом, как и в самом неодиме, парамагнетизм устанавливается под действием косвенного обмена 4f- электронов через электроны проводимости, так называемым взаимодействием Рудермана-Киттеля-Кассуи-Иосиды (РККИ) [6].

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кобзенко Г.Ф., Черногоренко В.Б., Федорченко В.П. - Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 1971, т.7, с. 1438.
2. Абулхаев В.Д. - Журнал неорганической химии, 2001, т. 46, № 4, с. 659.
3. Лесная М.И., Черногоренко В.Б., Кобзенко Г.Ф., Доротюк Г.В. Получение и исследование свойств редкоземельных металлов. Киев: ИПМ, 1979, 100 с.
4. Чечерников В.И. Магнитные измерения. М.: МГУ, 1963, с. 92.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1984, 207 с.
6. Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применение. М.: Наука, 1980, 239 с.

**Н.Ш.Холов, В.Д.Абулхаев, И.Н.Ганиев, Х.Х.Назаров**

**СИНТЕЗ ВА ХОСИЯТИ МАГНИТИИ ХҶЛАҶО ВА ПАЙВАСТАГИҶОИ СИСТЕМАИ Nd-Bi**

Дар мақолаи натиҷаи тадқиқоти ҳосиятҳои магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи Nd-Bi оварда шудааст. Таҳлили кристаллохимиявӣ нишон дод, ки пайвастагиҳои системаи Nd-Bi дар ҳолати муқаррарӣ структура кристаллизатсия мешаванд.

Таъсирпазирии магнитӣ, ҳарорати Кюри ва моменти магнитии ионҳои  $Nd^{3+}$  муайян карда шуданд.

**N.Sh.Kholov, V.D.Abulkhaev, I.N.Ganiev, Kh.Kh.Nazarov**

**SYNTHESIS, MAGNETIC PROPERTIES OF ALLOYS AND COMPOUNDS OF Nd-Bi SYSTEM**

The abstract comprises the results of investigation of magnetic properties of alloys which have been formed in the Nd-Bi system.

Crystallochemical investigations have shown, that compounds of the Nd-Bi system crystallizes in four structural type. Magnetic susceptibility, values of Curie temperatures and magnetic moment of  $Nd^{3+}$  ions was defined.