

НГО ТУАН ЗУНГ

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Ni—Co СПЛАВОВ И ИХ СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

Измерен экваториальный эффект Керра в видимой и инфракрасной областях спектра (0,15—3 эв) на Ni—Co сплавах всех составов (от чистого Ni до чистого Co). Обсуждено влияние кристаллической структуры ферромагнетика на положение собственных частот и форму дисперсионной кривой магнитооптического эффекта.

Исследование магнитооптических свойств ферромагнетиков дает информацию об энергетическом спектре электронов, ответственных за ферромагнетизм [1]. Информацию такого рода можно получить также с помощью методов электронной эмиссии, рентгеновской спектроскопии [2] и т. д. Однако магнитооптический метод имеет преимущество перед другими методами, потому что дает возможность разделить вклады подзона «правых» и «левых» электронов на магнитные явления. В работах по исследованию магнитооптических свойств ферромагнетиков обычно рассчитывают дисперсионную кривую зависимости недиагональных компонентов диэлектрической проницаемости $\epsilon_1'(h\nu)$ и $\epsilon_2'(h\nu)$ от энергии падающего светового кванта $h\nu$ и отождествляют особые точки на этих кривых разным электронным переходам в ферромагнетиках. Для этого требуется знание не только дисперсионной кривой магнитооптического эффекта $\delta(h\nu)$, но и оптических констант $n(h\nu)$ и $k(h\nu)$ этих же ферромагнетиков.

Возможно, что особые точки на кривых $\epsilon_1'(h\nu)$ и $\epsilon_2'(h\nu)$ появляются также на дисперсионной кривой самого магнитооптического эффекта $\delta(h\nu)$. Поэтому исследование дисперсионной кривой $\delta(h\nu)$ на сплавах, оптические константы которых не известны, может дать интересную информацию о таких особых точках. В этой работе обнаружены аномалии такого типа на ферромагнитных бинарных сплавах и определено влияние кристаллической структуры на положение аномалий и форму дисперсионной кривой $\delta(h\nu)$.

Методика и результаты измерений

Были выбраны сплавы Ni—Co всех составов (18 составов). Известно [3], что Ni—Co сплавы при комнатной температуре имеют гранецентрированную кубическую структуру (γ -структура) в области концен-

трации Co от 0 до 70% (пользуемся атомными процентами) и гексагональную структуру (ϵ -структура) в области концентрации Co от 75% до 100%. В смежной области (70—75% Co) существует смесь двух фаз. Чистота исходных материалов не ниже 99,9%. Сплавы изготовлены в вакууме с помощью индукционной печи. Из этих сплавов отрезаны образцы в виде пластинок размером $25 \times 10 \times 1$ мм.

Проведены измерения экваториального эффекта Керра, т. е. относительного изменения интенсивности отраженного линейно-поляризованно-

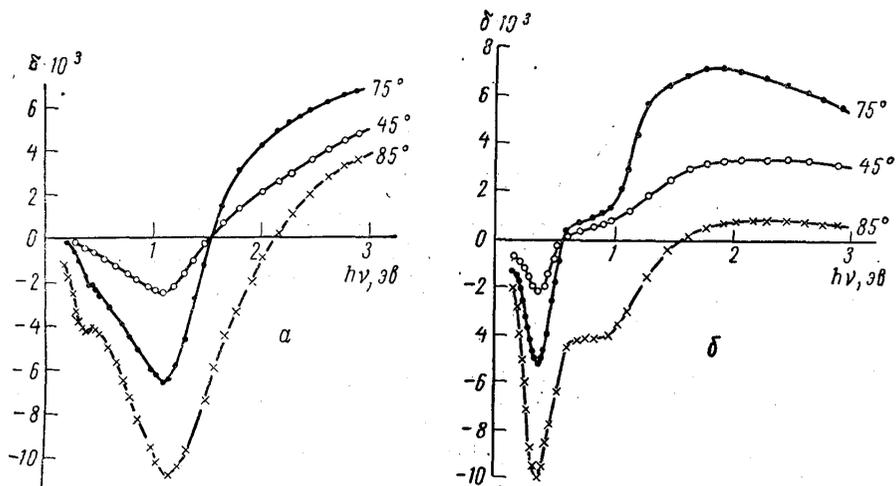


Рис. 1. Дисперсионные кривые: $\delta(h\nu)$ а — для сплава 50% Ni 50% Co, б — для Co при трех углах падения света

го света (p -компонента) при намагничивании образца в направлении перпендикулярном плоскости падения света $\delta = I - I_0/I_0$.

Схема установки для измерения δ аналогична той, что в работе [4]. Использование чувствительных маломощных фотоприемников (ФЭУ-79, фотосопротивления Pb—S или Ge—Au в зависимости от используемого диапазона длин волн) и фазочувствительных усилителей (селективного усилителя УЛ-6 вместе с фазовым детектором КЗ-2) позволяло повысить чувствительность установки и сделать полученные результаты более надежными. Подробно установка описывается в работах [4, 5].

На рис. 1 приведены кривые зависимости δ от энергии светового кванта для Co при трех углах ϕ падения света (а), даны те же кривые для сплава 50% Ni 50% Co (б). Как видим, в исследуемой области энергии светового кванта Co имеет один отрицательный максимум на кривой $\delta(h\nu)$ при значении $h\nu_0 = 0,36$ эв, кроме того, дисперсионная кривая $\delta(h\nu)$ для Co имеет одну ступеньку в области $h\nu_1 = 0,95$ эв. При углах падения света 45 и 75° эта ступенька лежит в области положительных значений δ , а при угле падения 85° она гораздо яснее и переходит в область отрицательных значений δ . Оба эти значения ($h\nu_0$ и $h\nu_1$) не меняются при изменении угла падения света. $\delta(h\nu)$ сплава 50% Ni 50% Co имеет максимум (отрицательный) при $h\nu_0 = 1,08$ эв для трех углов падения света. При $\phi = 75^\circ$ она имеет еще одну ступеньку около значения $h\nu_1 = 0,39$ эв, а при $\phi = 85^\circ$ эта ступенька превращается в слабый максимум со значением $h\nu = 0,36$ эв. При $\delta = 0$ частота сильно перемещается в сторону больших значений при возрастании угла падения света.

Для остальных сплавов и никеля δ был измерен при фиксированном угле падения света, равном 85° , для максимального проявления особенностей кривой $\delta(h\nu)$. Дисперсионные кривые $\delta(h\nu)$ некоторых из этих сплавов приведены на рис. 2.

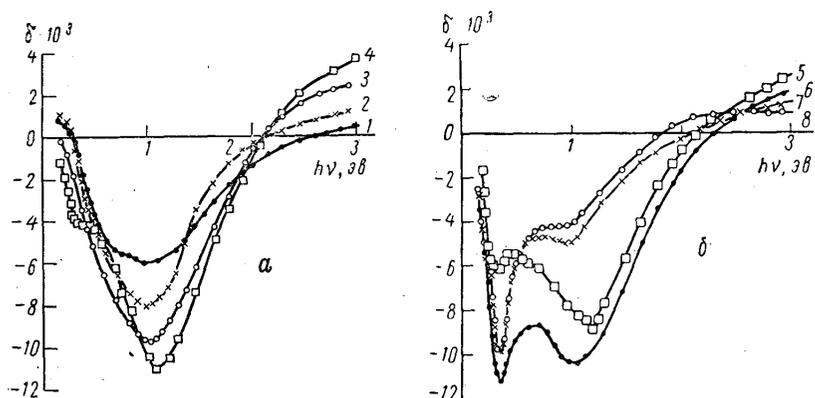


Рис. 2. Дисперсионные кривые: *a* — $\delta(h\nu)$ сплавов при угле падения света, равном 85° . 1 — чистый Ni, 2 — 85% Ni 15% Co, 3 — 65% Ni 35% Co, 4 — 50% Ni 50% Co, б — 5 — 35% Ni 65% Co, 6 — 25% Ni 75% Co, 7 — 15% Ni 85% Co, 8 — 5% Ni 95% Co

В области концентрации Co между 50% и 90% характерным для всех сплавов является существование двух максимумов на кривой $\delta(h\nu)$. Заметим, что впервые на Ni—Co сплавах был обнаружен двойной резонансный вид кривой $\delta(h\nu)$, аналогичной кривой $\delta(h\nu)$ для упорядоченных сплавов Ni_3Fe и Ni_3Mn в этой области спектра [6, 7].

Зависимость резонансной частоты $h\nu_0$, соответствующей сильному максимуму и $h\nu_1$ более слабому максимуму на кривой $\delta(h\nu)$ от состава, приведена в следующей таблице.

Обсуждение результатов

Основной вывод из полученных результатов заключается в том, что в инфракрасной области спектра дисперсионные кривые магнитооптического эффекта $\delta(h\nu)$ определяются главным образом кристаллической структурой ферромагнетиков. Полученные результаты для Co и сплава 50% Ni, 50% Co, видно, говорят о том, что целесообразно выбрать такую резонансную частоту, при которой кривая обладает относительным максимумом, так как частота, соответствующая максимуму, не смещается при изменении угла падения, а частоты, соответствующие точкам перегиба и нулевой точке, сильно смещаются.

Исследования по намагниченности насыщения [3] и по нейтронной дифракции [8] показывают, что в этих сплавах атомы Ni и Co ведут себя в магнитном отношении приблизительно как в чистых металлах Ni и Co. В [8] показано, что после любой термообработки существует беспорядочное расположение атомов компонентов этих сплавов. Поэтому можно счи-

Состав	$h\nu_0$, эв	$h\nu_1$, эв
Ni	0,96	—
96% Ni 4% Co	0,96	—
85% Ni 15% Co	0,96	—
65% Ni 35% Co	1,04	—
50% Ni 50% Co	1,08	0,36
35% Ni 65% Co	1,18	0,36
25% Ni 75% Co	0,36	1,04
15% Ni 85% Co	0,36	0,96
5% Ni 95% Co	0,36	0,95 ступенька
Co	0,36	0,95 ступенька

тать, что каждой кристаллической структуре соответствует одна резонансная частота $h\nu_0$ из кривой $\delta(h\nu)$, а появление двух резонансных частот на этой кривой следует приписать одновременному существованию двух фаз.

Как было сказано [3], при комнатной температуре сплавы Ni—Co существуют в γ -структуре как чистый Ni в области до 70% Co, а в области от 75% Co до чистого Co в ϵ -структуре как чистый Co. Однако последние рентгенографические [9, 10] и электронно-микроскопические [11]

исследования показывают, что в области от 75% Co до чистого Co при комнатной температуре сплавы, включая и чистый Co, существуют в виде смеси γ - и ϵ -фаз. Кроме того, γ -фаза быстро уменьшается с увеличением концентрации Co. Поэтому резкое изменение основной резонансной частоты при переходе от сплава 65% Co 35% Ni к сплаву 75% Co 25% Ni подтверждает наше предположение. На рис. 3 приведена зависимость резонансных частот от составов.

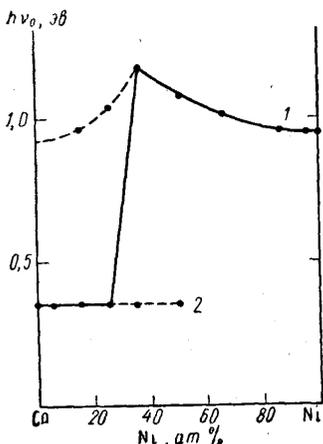


Рис. 3. Зависимость резонансной частоты от состава: 1 — основные значения $h\nu_0$, 2 — дополнительные значения $h\nu_1$

Существование второго слабого максимума в области 50—90% Co может быть интерпретировано как следствие одновременного существования двух кристаллических структур, так как в области концентрации Co выше 70% и при комнатной температуре основная масса находится в ϵ -структуре, то вторая резонансная частота, соответствующая более слабому максимуму, должна быть близкой к резонансной частоте Ni. И, наоборот, в области концент-

рации Co меньше 70% основная масса находится в γ -структуре, поэтому вторая резонансная частота должна быть близкой к резонансной частоте Co (см. рис. 3).

Рассмотрим ступеньку на кривой $\delta(h\nu)$ для Co. Как было сказано выше, при комнатной температуре некоторое количество Co в металлическом кобальте находится в γ -структуре. Co находится рядом с Ni в периодической таблице Менделеева. Кроме того, в γ -структуре Co и Ni имеют почти одинаковую постоянную решетку ($a_{Co}=3,5368 \text{ \AA}$, $a_{Ni}=3,5168 \text{ \AA}$). Поэтому ступеньку на кривой $\delta(h\nu)$ для Co следует приписывать резонансной частоте Co в γ -структуре. Это предположение подтверждается полученными данными: соответствующая ступенька на кривой $\delta(h\nu)$ для Co и максимум на кривой $\delta(h\nu)$ для Ni совпадают.

Можно сопоставить указанные резонансные частоты некоторым переходам в 3d-зоне ферромагнетиков. Причина этих переходов пока не ясна. Возможно он происходит за счет обменного взаимодействия в ферромагнетиках. Для Co и Ni в γ -структуре эта частота равна $h\nu_0=0,96 \text{ эВ}$. Для Co в ϵ -структуре эта частота равна $h\nu_0=0,36 \text{ эВ}$. Изменение значений этой частоты (рис. 3) для сплавов, имеющих одинаковую кристаллическую структуру, объясняется, по нашему мнению, изменением постоянной решетки — резонансная частота увеличивается с увеличением постоянной решетки.

Автор выражает благодарность проф. Г. С. Кринчику за обсуждение результатов, а также Ю. А. Гранцианову и В. З. Погосову за помощь в изготовлении сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кринчик Г. С., Артемьев В. А. ЖЭТФ, 53, 1901, 1967.
2. Yu A. Y. C., Spicer W. E. Phys. Rev., 167, 674, 1968; Волков В. Ф., Россоха Л. А. «Физика металлов и металловедение», 25, 1134, 1968.
3. Бозорт Р. Ферромагнетизм. М., ИЛ, 1956.
4. Кринчик Г. С., Нурмухамедов Г. М. ЖЭТФ, 48, 34, 1965.
5. Кринчик Г. С., Гушин В. С. ЖЭТФ, 56, 1833, 1969.
6. Кринчик Г. С., Банин Е. С. ЖЭТФ, 49, 470, 1965.
7. Кринчик Г. С., Нуралиева Р. Д. ЖЭТФ, 42, 1442, 1962.
8. Collins M. F., Wheeler D. A. Proc. Phys. Soc., 82, 633, 1963.
9. Белко В. Н. и др. «Физика металлов и металловедение», 27, 141, 1969.
10. Houska C. R. et al. Acta met., 8, 81, 1960.
11. Votava E. Acta met., 8, 901, 1960.

Поступила в редакцию
31.3 1969 г.

Кафедра
магнетизма