

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.34 : 546.3-19

ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СПЛАВОВ Ni—Fe

Н. Я Горбань и В. С. Стацук

В настоящее время интенсивно изучаются оптические свойства сплавов [1-3], особенно ферромагнитных. Исследование последних в области межзонного поглощения позволяет получить наиболее полную по сравнению с другими методами информацию о структуре зон, обменном и спин-орбитальном расщеплениях [4]. Результаты изучения оптических свойств в области внутризонного поглощения (инфракрасная область) дают возможность определить характеристики электронов проводимости.

В настоящей работе представлены результаты исследований межзонного поглощения ферромагнитных сплавов Ni—Fe в широкой области спектра (0.25 — 17 мкм). С исходных никеля и железа чистоты соответственно 99.99 и 99.9% были выплавлены в атмосфере гелия сплавы Ni—Fe (10, 20, 30 и 40 ат.% Fe). Образцы гомогенизировались при температуре 1100°С в течение 24 час. Зеркальные поверхности приготавливались механической шлифовкой и полировкой. Перед измерениями образцы подвергались трехчасовому отжигу в вакууме 5·10⁻⁶ мм рт. ст. при температуре 450°С.

Оптические постоянные n (показатель преломления) и κ (показатель поглощения) измерялись при комнатной температуре методом Битти [5]. Ошибка в определении n и κ составляла 1.5 ÷ 8%. Результаты измерений n и κ для сплавов Ni—Fe с содержанием 10, 20, 30 и 40 ат.% Fe в сокращенном виде приведены в таблице.

Оптические постоянные чистых никеля и железа в основном согласуются с [5-8] и в таблице не приводятся.

По полученным n и κ были вычислены диэлектрическая постоянная $\epsilon = n^2 - \kappa^2$ и высокочастотная проводимость $\sigma = n\kappa\nu$ (ν — частота света). Дисперсионные зависимости $\sigma(\hbar\nu)$ для никеля, железа и двух сплавов Ni—10% Fe, Ni—30% Fe приведены на рис. 1. Анализ кривых σ показывает, что оптические свойства в области 0.25 ÷ 0.9 мкм определяются в основном межзонами переходами, а в области 6 ÷ 17 мкм доминирующим является внутризонное поглощение. Используя вычисленные значения характеристик 3d- и 4s-электронов проводимости на основании измеренных n и κ в области 6 ÷ 17 мкм, был выделен вклад межзонных переходов в световую проводимость. При этом предполагалась аддитивность $\sigma = \sigma_e + \bar{\sigma}$, где σ_e относится к электронам проводимости, а $\bar{\sigma}$ — к межзонным переходам. Вклад электронов проводимости в экспериментальные значения σ учитывался по формуле

$$\sigma_e = \frac{1}{4\pi} \frac{\Omega_s^2 \gamma_s}{\omega^2 + \gamma_s^2} + \frac{1}{4\pi} \frac{\Omega_d^2 \gamma_d}{\omega^2 + \gamma_d^2},$$

где Ω_s и Ω_d — плазменные частоты, а γ_s и γ_d — частоты релаксации 4s- и 3d-электронов.

На рис. 2 представлен выделенный вклад от межзонных переходов для сплавов Ni—Fe (10, 20, 30 и 40% Fe) и чистых никеля и железа. На кривой $\bar{\sigma}(\hbar\nu)$ железа выделяется лишь одна мощная полоса поглощения с максимумом при 2.5 эв, а на кривой никеля — несколько полос: интенсивная в ультрафиолетовой области с максимумом при 4.7 эв и совокупность налагающихся друг на друга полос в длинноволновой области спектра, состоящая по крайней мере из трех полос с максимумами при 0.4, 0.8 и 1.5 эв. Все указанные аномалии очень рельефно проявляются на кривой $\bar{\sigma}$ сплава Ni—10% Fe. В остальных сплавах длинноволновые полосы поглощения с максимумом отсутствуют, зато более четко проявляется полоса поглощения с максимумом при 1.5 эв. Следует отметить, что этот максимум практически не смещается в шкале энергий и мало изменяется по интенсивности. Коротковолновый максимум никеля при 4.7 эв с увеличением содержания железа в сплаве смещается в длинноволновую область спектра и уменьшается по интенсивности; в сплаве Ni—40% Fe он практически отсутствует. Мы не акцентируем внимание на мелких деталях кривых $\bar{\sigma}(\hbar\nu)$, например в видимой области спектра.

Так как электронная энергетическая структура сплавов Ni—Fe не рассчитана, то при интерпретации оптических спектров воспользуемся энергетической структурой чистого никеля [9, 10], а также интерпретациями его собственных частот [7, 10-12]. Наибольшее внимание будет уделено низкоэнергетическим структурам, которые обусловлены переходами вблизи точки L зоны Бриллюэна. При интерпретации за

Оптические постоянные сплавов Ni—Fe

λ , мкм	10% Fe		20% Fe		30% Fe		40% Fe	
	n	x	n	x	n	x	n	x
0.254	1.31	2.10	1.17	2.19	1.23	2.09	1.27	2.08
0.265	1.38	2.17	1.24	2.25	1.30	2.12	1.29	2.13
0.270	1.42	2.23	1.28	2.25	1.30	2.15	1.34	2.20
0.280	1.45	2.21	1.31	2.27	1.35	2.17	1.36	2.19
0.297	1.44	2.20	1.37	2.29	1.37	2.20	1.40	2.22
0.313	1.44	2.21	1.36	2.34	1.37	2.26	1.41	2.36
0.334	1.45	2.29	1.37	2.42	1.40	2.36	1.46	2.44
0.365	1.45	2.46	1.40	2.60	1.41	2.54	1.52	2.62
0.405	1.44	2.67	1.49	2.86	1.49	2.77	1.58	2.82
0.455	1.53	3.03	1.65	3.06	1.64	3.07	1.71	2.99
0.500	1.63	3.28	1.77	3.30	1.77	3.25	1.79	3.14
0.545	1.76	3.53	1.90	3.50	1.87	3.44	1.93	3.30
0.600	1.91	3.78	2.03	3.73	2.02	3.65	2.10	3.51
0.645	2.0	4.04	2.17	3.94	2.09	3.89	2.20	3.67
0.705	2.20	4.23	2.33	4.13	2.26	4.12	2.39	3.89
0.750	2.32	4.40	2.51	4.35	2.40	4.37	2.49	4.05
0.795	2.40	4.56	2.64	4.49	2.54	4.51	2.58	4.20
0.850	2.50	4.73	2.73	4.62	2.58	4.67	2.73	4.36
0.910	2.58	4.89	2.76	4.78	2.65	4.75	2.81	4.48
0.940	2.66	4.96	2.78	4.84	2.70	4.85	2.84	4.50
1.0	2.69	5.09	2.96	5.01	2.85	5.0	2.93	4.60
1.1	2.76	5.30	3.06	5.20	2.93	5.17	3.04	4.85
1.2	2.91	5.65	3.35	5.06	3.13	5.07	3.22	4.90
1.3	3.09	5.92	3.40	5.35	3.25	5.07	3.26	4.77
1.4	3.09	6.30	3.62	5.85	3.21	5.49	3.39	5.10

λ , мкм	10% Fe		20% Fe		30% Fe		40% Fe	
	n	x	n	x	n	x	n	x
1.6	3.41	6.95	3.77	6.05	3.55	5.83	3.67	5.56
1.8	3.41	7.36	3.82	6.41	3.51	6.05	3.65	6.03
2.0	3.59	7.55	3.69	6.80	3.63	6.54	3.54	6.41
2.2	3.68	8.52	3.78	7.18	3.74	7.05	3.73	6.81
2.4	3.92	9.28	4.19	7.25	4.07	7.05	3.97	7.28
2.6	4.22	9.28	4.32	7.45	4.12	7.58	4.02	7.86
2.8	4.42	9.92	4.50	8.13	4.22	7.92	4.19	8.44
3.0	4.62	10.63	4.74	8.44	4.22	8.50	4.31	8.59
3.5	4.86	11.85	4.97	9.54	4.50	9.85	4.58	9.88
4.0	4.86	13.13	5.30	10.20	4.67	10.73	4.96	10.95
4.5	5.32	14.95	5.58	11.35	4.90	12.09	5.18	12.1
5.0	5.40	17	5.72	15	5	13.3	5.96	13.03
5.6	5.69	18.54	6.36	16.5	—	—	—	—
6.0	6.15	19.3	6.41	16.92	5.40	15.93	6.27	14.54
6.4	6.33	20.22	6.96	18.23	—	—	—	—
7.0	6.79	22.68	6.96	19.71	5.97	18.06	6.7	16.75
8.0	7.61	24.53	7.63	21.65	6.49	20.84	7.6	18.6
9.0	8.90	27.06	8.37	23.63	6.64	22.85	7.92	20.2
10	9.56	29.2	9.65	25.45	6.93	25.2	8.0	21.7
11	10.0	31.33	9.8	27.79	7.62	27.4	9.11	24.25
12	10.53	33.6	10.62	29.7	7.90	30.0	10.0	25.8
13	10.95	35.1	10.92	31.3	8.42	31.7	10.12	27.4
15	12.95	39.3	12.13	34.5	9.16	36.9	11.6	30.9
16	12.52	39.4	13.0	35.7	9.63	38.6	12.2	32.0
17	14.0	42.2	13.6	37.4	11.3	41.0	12.8	32.5

основу примем модель с обратным порядком уровней [7, 10–12]. Согласно этой модели, аномалия на кривой ε никеля при 0.4 эв отождествляется с переходом $L'_2 \downarrow \rightarrow L_{32} \downarrow$ [7, 11, 12], причем она должна быть очень интенсивной [10]. Более низкоэнергетическая особенность вблизи 0.8 эв обусловлена переходом $\lambda \downarrow \rightarrow E_F$ [7, 12]. Согласно такой интерпретации, добавление Fe к Ni должно приводить к постепенному исчезновению аномалии 0.8 эв в сплавах Ni—Fe (если справедливо приближение жесткой полосы). Это фактически и наблюдается (рис. 2). В то же время малые добавки Fe

не должны влиять на аномалию 0.4 эв. Последнее обусловлено тем, что $L'_2 \downarrow$ лежит ниже уровня Ферми примерно на 0.18 эв [10] и, следовательно, при плотности состояний $3 \text{ состояния} \times \text{эв}^{-1} \times \text{атом}^{-1}$ [13] уровень Ферми должен понизиться на 0.18 эв при добавке примерно 25 ат.% Fe. Таким образом, согласно интерпретации [12], аномалия 0.4 эв должна резко уменьшиться по интенсивности при добавке в Ni более 25 ат.% Fe. В нашем случае она очень рельефно проявляется в сплаве Ni—10% Fe

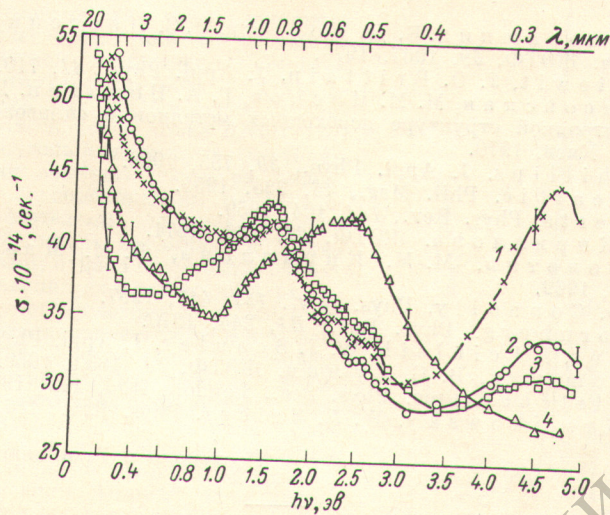


Рис. 1. Дисперсионные зависимости световой проводимости $\sigma(h\nu)$ Ni, Fe и сплавов Ni—Fe.
1 — Ni, 2 — Ni — 10% Fe, 3 — Ni — 30% Fe, 4 — Fe.

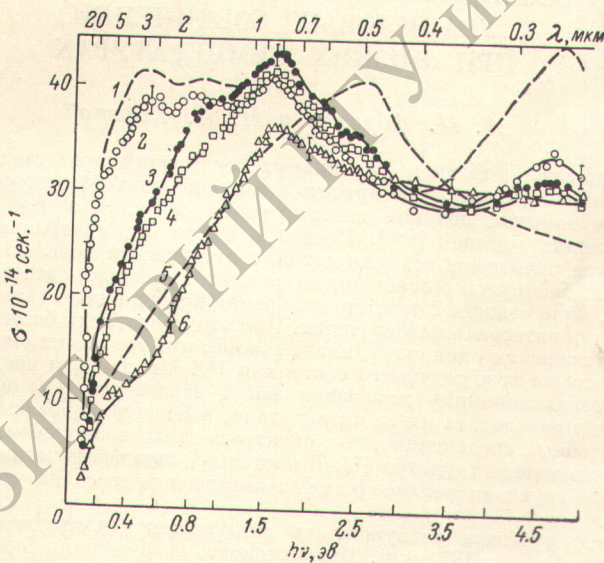


Рис. 2. Дисперсионные зависимости межзонной проводимости $\epsilon(h\nu)$ Ni, Fe и сплавов Ni—Fe.
1 — Ni, 2 — Ni — 10% Fe, 3 — Ni — 20% Fe, 4 — Ni — 30% Fe, 5 — Fe, 6 — Ni — 40% Fe.

и уже практически отсутствует в сплаве Ni—20% Fe. Это свидетельствует о том, что промежуток $E_F - E(L'_2 \downarrow)$, оцененный в [12] в 0.18 эв, оказывается завышенным. Согласно нашим результатам, он должен быть порядка $0.10 \div 0.12$ эв.

Низкоэнергетическая структура вблизи 1.5 эв, по-видимому, не относится к переходам вблизи точки L зоны Бриллюэна. Этот максимум практически не сдвигается при добавке Fe, а значит ответственный за него переход не связан с участием уровня Ферми и поэтому его нельзя интерпретировать как не прямой переход $L_{31} \downarrow \rightarrow E_F$ [14]. Более приемлемой является вторая интерпретация этого максимума как прямого перехода $W_1 \downarrow \rightarrow W'_1 \downarrow$ [11, 12] вблизи точки W зоны Бриллюэна. При таком отождеств-

лении устойчивость максимума 1.5 эв в сплавах Ni—Fe обеспечивается тем, что начальные состояния расположены гораздо ниже (~ 1 эв), а конечные — выше уровня Ферми [9-11]. Сдвиг же высокоэнергетического максимума при 4.7 эв в сплавах обусловлен тем, что при понижении уровня Ферми переходы типа $L_1 \uparrow \rightarrow L_{32} \uparrow$ наступают при меньших энергиях фотонов (см., например, [9, 10]).

Литература

- [1] А. И. Головашкин, Е. Д. Доннер, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ, 59, 1967, 1970.
- [2] D. A. Kiewit, J. O. Brittain. J. Appl. Phys., 41, 710, 1970.
- [3] И. И. Сасовская, М. М. Носков, Г. А. Болотин. Докл. симпозиума по электронной структуре переходных металлов и сплавов. Изд. «Наукова думка», Киев, 1970.
- [4] J. C. Phillips. J. Appl. Phys., 39, 755, 1968.
- [5] J. R. Beattie. Phil. Mag., 46, 235, 1955.
- [6] S. Roberts, Phys. Rev., 144, 104, 1959.
- [7] М. М. Кириллова. ЖЭТФ, 61, 336, 1971.
- [8] Г. А. Болотин, М. М. Кириллова, В. М. Маевский. ФММ, 27, 224, 1969.
- [9] J. W. D. Connolly. Phys. Rev., 159, 415, 1967.
- [10] E. I. Zornberg. Phys. Rev., B1, 244, 1970.
- [11] J. Hanus, J. Feinleib, W. J. Scouler. J. Appl. Phys., 39, 1272, 1968.
- [12] Г. С. Гринчик, В. С. Гуцин. ЖЭТФ, 56, 1833, 1969.
- [13] G. C. Fletcher. Proc. Phys. Soc., London, A65, 192, 1952.
- [14] W. F. Krolikowsky, W. E. Spicer. Phys. Rev., 185, 882, 1969.

Поступило в Редакцию 6 апреля 1973 г.

УДК 535.373.3

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ СВЕЧЕНИЯ УРАНИЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А. П. Абрамов и Н. А. Толстой

Люминесцентный механизм ураниловых соединений представлялся до сих пор сравнительно элементарным. Обширность экспериментальной информации уже давно стимулировала попытки цельной интерпретации свечения с помощью надлежащих спектроскопических моделей [1-3]. Несмотря на то что измерения релаксационных свойств свечения производились уже давно, теоретические модели мало использовали эти результаты, базируясь в основном на данных о спектрах свечения и поглощения. Это, очевидно, было связано с тем, что измерения времени затухания τ производились, как правило, для интегрального свечения. При этом считалось бессмысленным, что τ всех линий спектра свечения одинаково, иначе говоря, что все линии спектра испускаются из одного и того же возбужденного состояния [4]. Мы давно и неоднократно подчеркивали, что релаксационные измерения могут давать информацию первостепенной важности, если производить их не интегрально, а «спектрально» (см., например, [5, 6]). Получение подобных «релаксационных спектров» стало возможным, в частности, благодаря развитию метода тауметра [7]. В настоящей заметке излагаются предварительные результаты изучения релаксационных спектров ряда солей уранила при низких температурах.

Соединения уранила возбуждались импульсами (длительностью ≈ 10 нсек.) азотного лазера ($\lambda_{\text{возб.}} = 337$ мкм). Интенсивность возбуждения была достаточно слабой для того, чтобы исключить появление нелинейного тушения. Линии в спектре свечения выделялись монохроматором ДФС-12. Изучение свечения отдельных линий показало, что в каждом из соединений уранила при 4.2° К имеются линии с совершенно различной кинетикой: во-первых, линии, затухающие нормальным монотонным образом после прекращения короткого возбуждающего импульса (назовем их N-линиями); во-вторых, линии, разгорающиеся после окончания такого возбуждения, а затем затухающие (назовем их A-линиями, рис. 1). Наиболее коротковолновая линия спектра всегда относится к N-типу.

Наблюдаемые закономерности приводят к естественному предположению о том, что N- и A-линии обусловлены переходами из разных возбужденных состояний, между которыми происходит обмен энергией. При температуре 4.2° К эта передача идет только в одну сторону — от состояний с большей энергией, излучающих N-линии, к состояниям с меньшей энергией, ответственных за A-линии. При повышении температуры тепловая активация постепенно включает обратный переход $A \rightarrow N$,