

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАНАДИЯ, ПОЛУЧЕННОГО НАПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

А. И. Головашкин, И. Д. Маш, Г. П. Мотулевич

1. Настоящая работа является одной из серии работ, посвященных исследованию оптических свойств и электронных характеристик сверхпроводящих металлов и сплавов. Здесь приводятся результаты исследования напыленных слоев ванадия. Ванадий является переходным металлом, обладающим сравнительно высокой температурой перехода $T_c = 5,3^\circ\text{К}$. Предшествующие исследования ванадия²⁻⁵ выполнены на механически полированных образцах, что не позволяет получить характеристики, относящиеся к металлу с неискаженной решеткой. Мы разработали метод изготовления слоев ванадия, свободных от слоя наклепа и имеющих характеристики, близкие к характеристикам массивного металла.

2. Образцы изготавливались испарением ванадия в вакууме 10^{-5} тор с вольфрамовой спирали на полированные сапфировые подложки, нагретые до температуры $800-900^\circ\text{С}$. Скорость напыления $\sim 20 \text{ \AA}/\text{сек}$. Были изготовлены образцы толщиной около 2 мк. Чистота исходного материала 99,5%. Статические характеристики напыленного ванадия и исходного массивного металла приведены в таблице 1. Здесь d - толщина слоя; ρ - плотность; σ - статическая проводимость; $R_K, R_N, R_{\text{осм}}$ - соответственно сопротивление при комнатной, азотной температурах и остаточное; θ_R - характеристическая температура Дебая, определенная по температурной зависимости сопротивления; T_c - температура перехода в сверхпроводящее состояние; ΔT - ши-

рина перехода. Из таблицы 1 видно, что характеристики исследованных образцов близки к характеристикам массивного металла.

Таблица 1

Статические характеристики ванадия

Характеристики	Напыленные слои	Исходный массивный металл
d , мк	2	
ρ , г/см ³	$5,95 \pm 0,1$	$5,91 \pm 0,01$
$\sigma_{см} 10^{-16}$ сек ⁻¹	$3,2 \pm 0,1$	$3,32 \pm 0,08$
R_N/R_K	0,226	0,245
$R_{осм}/R_K$	0,145	0,162
θ_R , °К	$380^\circ \pm 10^\circ$	$380^\circ \pm 10^\circ$
T_c , °К	4,92	5,02
ΔT , °К	0,05	0,05

3. Метод измерения оптических постоянных и описание установки приведены в работах⁶⁻⁷. Результаты измерения n и x ($n - ix$ - комплексный показатель преломления) приводятся в таблице 2. Сопоставление наших результатов с данными работ^{2,4} показывает, что механически полированные образцы дают заметно меньшие значения n и x .

4. Обработка результатов измерений в длинноволновой области проводилась по зависимости $1/\epsilon$ от квадрата частоты ω^2 . Подробно этот метод обработки описан в⁸. Использование этого метода в случае ванадия обусловлено сравнительно малой концентрацией

Таблица 2

Оптические постоянные напыленного вакадия

$\lambda, \mu\text{к}$	n	z	$\lambda, \mu\text{к}$	n	z	$\lambda, \mu\text{к}$	n	z
0,43	2,06	3,30	0,72	2,99	3,23	1,6	2,39	6,02
0,44	2,12	3,30	0,74	2,99	3,23	1,7	2,42	6,48
0,45	2,20	3,34	0,78	3,08	3,35	1,8	2,49	7,00
0,46	2,29	3,34	0,80	3,05	3,34	1,9	2,59	7,45
0,47	2,41	3,37	0,82	3,04	3,35	2,0	2,69	7,88
0,48	2,50	3,36	0,84	3,03	3,36	2,5	2,89	9,79
0,49	2,59	3,36	0,86	3,03	3,35	3,0	3,70	11,5
0,50	2,65	3,33	0,88	3,01	3,40	3,5	4,32	13,1
0,51	2,70	3,30	0,90	3,01	3,43	4,0	5,14	14,8
0,52	2,74	3,27	0,92	3,02	3,44	4,5	5,79	16,3
0,54	2,82	3,20	0,94	3,01	3,45	5,0	6,65	17,5
0,56	2,88	3,14	0,96	3,00	3,49	5,5	7,54	18,6
0,58	2,90	3,11	0,98	2,97	3,51	6,0	8,29	20,0
0,60	2,90	3,08	1,00	2,93	3,54	6,5	8,80	21,0
0,62	2,91	3,08	1,1	2,72	3,88	7,0	9,62	21,7
0,64	2,93	3,10	1,2	2,55	4,34	7,5	10,4	23,3
0,66	2,94	3,16	1,3	2,44	4,80	8,0	11,5	24,8
0,68	2,95	3,20	1,4	2,38	5,15	9,0	12,9	26,1
0,70	3,00	3,25	1,5	2,39	6,02			

электронов проводимости и большой эффективной частотой соударений электронов (см. таблицу 3), в результате чего в длинноволновой области вклад электронов проводимости в ϵ_1 становится сравнимым с вкладом виртуальных межзонных переходов. Здесь ϵ_1 — реальная часть диэлектрической постоянной. Величина $1/\epsilon$ линейно зависит от ω^2 в спектральном интервале 5–9 мк. Этот интервал использовался для определения электронных характеристик.

Полученные указанным методом электронные характеристики приводятся в таблице 3. Из таблицы сле-

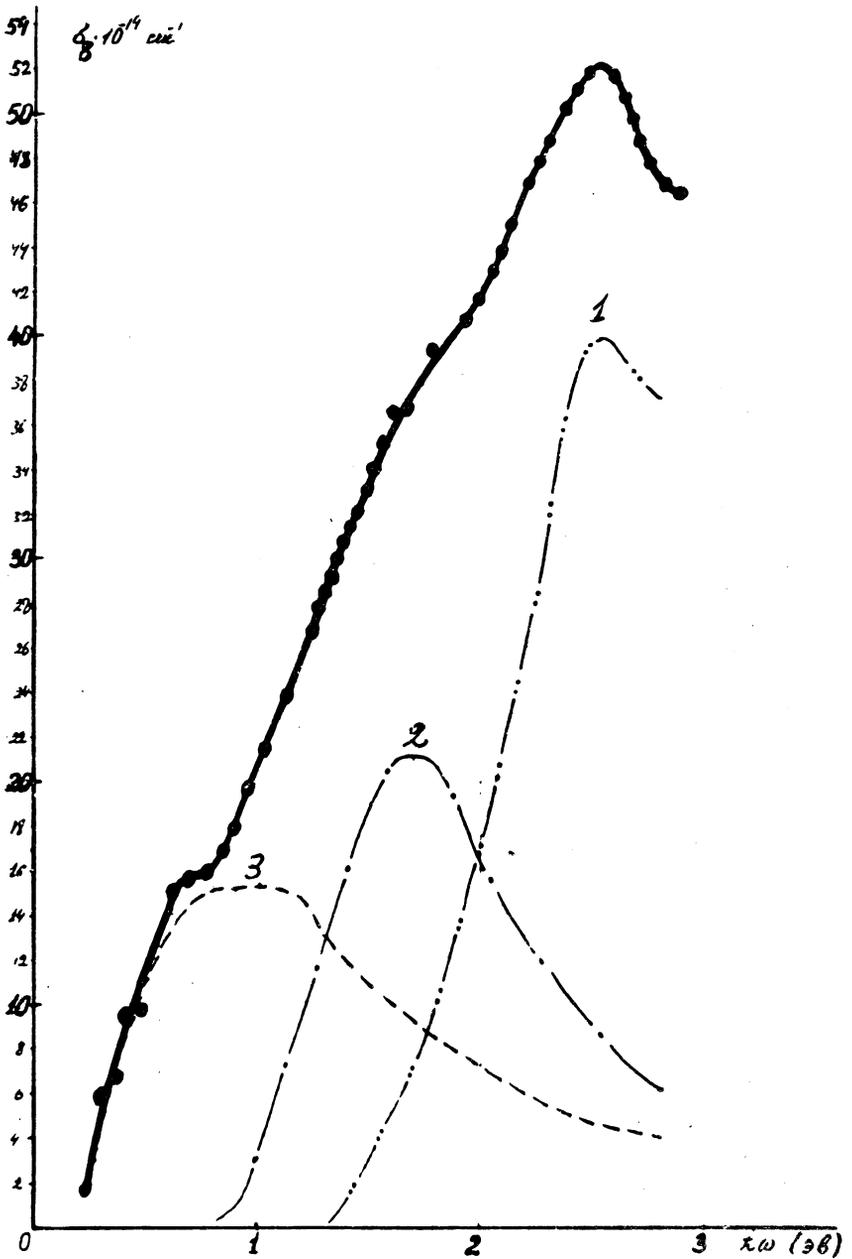
дует, что концентрация электронов проводимости значительно меньше валентной. Отметим, что значение N , полученное для механически полированных образцов, примерно в 2 раза меньше значения, полученного в настоящей работе. Указанное обстоятельство, по-видимому, связано со слоем наклепа у механически полированных образцов.

Таблица 3

Электронные характеристики напыленного ванадия

$N \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$	2,03	$\nu_{110}, 10^{14} \text{ сек}^{-1}$	7,6
$N/N_{\text{вал}}$	0,055	$\nu_{110}, \text{ эВ}$	-1,1
N/N_a	0,27	$v_F, 10^8 \text{ см/сек}$	0,6
$\nu, 10^{14} \text{ сек}^{-1}$	3,1	$S_F, 10^{-57} \text{ г}^2 \text{ см}^2 / \text{сек}^2$	1,9

5. Результаты экспериментального определения $\epsilon_1 = n^2 - x^2$ и $\sigma = n x \omega / 2\pi$ позволили получить вклад в эти величины межзонных переходов ϵ_{1b} и σ_b . При этом вклад электронов проводимости учитывался по формулам работы⁷ с использованием N и ν , приводимых в таблице 3. Зависимости σ_b и ϵ_{1b} от $\hbar\omega$ приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что кривые $\epsilon_{1b}(\hbar\omega)$ и $\sigma_b(\hbar\omega)$ имеют сложную форму. Ясно видно наличие трех полос межзонных переходов. На рис. 1а приведены результаты разделения σ_b на 3 полосы. Наличие этих полос подтверждается наличием областей аномальной дисперсии в ϵ_{1b} (рис. 2). Форма полосы 3, а также поведение ϵ_{1b} в соответствующей спектральной области указывают, что, по-видимому, полоса 3 является сложной, состоящей из двух полос. Параметры трех полос приведены в таблице 4. Ограничиваясь пока первым приближением, мы не разделили полосу 3. В таблице 4 $\hbar\omega_{\text{max}}$ - значение положения максимума полосы; $\sigma_{\text{max}} = \sigma(\omega_{\text{max}})$; ν' - безразмерный параметр, связанный с релаксацией и опре-

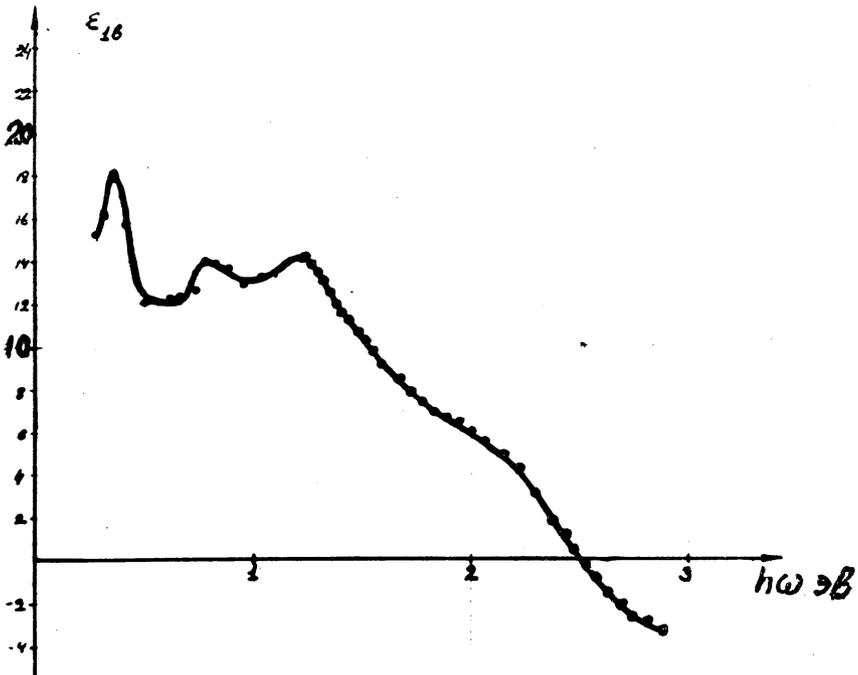


Р и с. 1. Межзонная проводимость ванадия.

Таблица 4

Параметры полос σ_b ванадия

Полосы	$\hbar\omega_{\text{max}}$, эВ	σ_{max} , 10^{15}сек^{-1}	ν'
1	$2,55 \pm 0,05$	11,0	0,2
2	$1,65 \pm 0,01$	2,1	0,2
3	$0,9 \pm 0,1$	1,5	0,5



Р и с. 2. Реальная часть диэлектрической постоянной, связанная с межзонными переходами.

деляющий форму линии⁹. Полоса 1 связана с фурье-компонентой псевдопотенциала V_{110} . Значение V_{110} и эффективная частота соударений ν_{110} для электронов, участвующих в указанном межзонном переходе, определялись по формулам работы⁹ и приведены в таблице 3. Знак V_{110} определялся по формулам для фурье-компоненты псевдопотенциала, полученным Архиповым¹⁰. Сравнение полосы межзонных переходов с данными работы³ показывает, что в механически полированных образцах положение максимума смещено в длинноволновую область примерно на 0,3 эв, величина $\delta_{\text{шах}}$ в 3,5 раза меньше. Это различие, по-видимому, указывает на нарушение периодичности у механически полированных образцов, что приводит к уменьшению структурного фактора и следовательно, к уменьшению ν . Более детальный анализ полос межзонной проводимости предполагается выполнить в ближайшее время.

Авторы выражают благодарность А. А. Шубину за помощь в работе.

Поступила в редакцию
24 июня 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Busch G and Müller J, Helv. Phys. Acta, 30, 230 (1957).
2. Г. А. Бологин, А. Н. Волошинский, М. М. Кириллова, М. М. Носков, А. В. Соколов и Б. А. Чариков. ФММ 13, 823 (1962).
3. М. М. Кириллова и Б. А. Чариков. ФММ 19, 495 (1965).
4. A. P. Lenham and D. M. Frenerne. Proceedings of the International Colloquim on the Optical Properties and Electronic Structure of Metals and Alloys (North-Holland Publishing Co, Amsterdam, 1966)

5. A. P. Lenham and D. M. Freenerne. J.O.S.A., 26, 1137 (1966).
6. Г. П. Мотулевич, А. А. Шубин. Оптика и спектроскопия, 2, 633 (1957); А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ, 47, 64 (1964); А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 53, 1526 (1967).
7. Г. П. Мотулевич. Докторская диссертация, Москва, ФИАН 1968 г. Г. П. Мотулевич. УФН 97, 211 (1969). А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ 53, 1526 (1967).
8. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ 57, 74 (1969).
9. А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ 57, 1058 (1969); Препринт ФИАН № 76, 1969 г.
10. Р. Г. Архипов. ЖЭТФ 59, 1715 (1970).