Краткие сообщения по физике № 3 1977

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА V_3Si

Д. Т. Колдаева, Г. П. Мотулевич, А. А. Шубин

УДК 537.312.62; 535.393

Измерены оптические постоянные сплава V_3Si. Получены его микрохарактеристики.

Измерение оптических постоянных металлов и сплавов позволяет определить их электронные характеристики /I/. В настоящей работе выполнены измерения комплексного показателя преломления сплава V_3Si в интервале длин волн 3÷10 мкм, что позволило определить его электронные характеристики. Специальный интерес к этому связан с его высокими критическими сверхпроводящими параметрами. Этот сплав обладает наиболее высокой температурой сверхпроводящего перехода среди всех сплавов на основе ванадия. Электронные характеристики V_3Si до настоящего времени не были определены.

I. Экспериментальная часть.

В работе исследовались пленки V_3Si. Способ изготовления образцов основывался на испарении в вакууме электронным пучком заранее приготовленного сплава ванадий-кремний и осаждении его на полированные рубиновые подложки. Данный способ оказался возможным из-за сравнительно близких температур испарения ванадия и кремния. Напыление проводилось в вакууме $(1÷5)10^{-5}$ мм рт.ст. Температура подложки $T_п = 1100^{o}C$. Одновременно с основным образцом, предназначенным для оптических исследований, производилось напыление ряда образцов для измерения сверхпроводящих и других параметров. Характеристики образцов: толщина слоя $d = 0,3$ мкм, постоянная решетки $a = 4,720$ Å,*) статическая проводимость $\sigma = 0,69 \cdot 10^{16}$ сек$^{-1}$, $R_{комн}/R_{ост} = 6,97$ ($R_{комн}$ и $R_{ост}$ соот-

*) Постоянная решетки была определена по дебаеграмме Н. Н. Лобановым.

ветственно сопротивления при комнатной температуре и при температуре непосредственно перед сверхпроводящим переходом), температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_c = 16,65°K$, ширина перехода в сверхпроводящее состояние $\Delta T_c = 0,85°K$.

Измерение оптических постоянных осуществлялось поляризационным методом на установке, описанной в работе /2/. Установка рассчитана на четырехкратное отражение от исследуемых зеркал. Как оказалось, пленки V_3Si относительно плохо (по сравнению с другими металлами) отражают компоненту света, поляризованную перпендикулярно плоскости падения. После четырехкратного отражения света при углах падения $\varphi \sim 70 \div 80°$ интенсивность указанной компоненты была мала, что существенно снижало точность измерения. Для повышения точности мы использовали три эталонных золотых зеркала и одно зеркало V_3Si. Предварительно на той же установке измерялись оптические постоянные эталонных зеркал. Было выполнено пять серий измерений четырех эталонных зеркал и пять серий измерений зеркала V_3Si с тремя эталонными зеркалами.

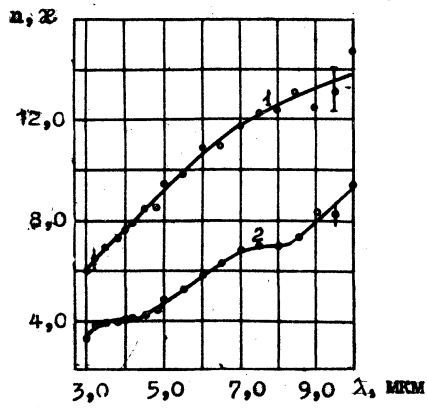
II. Результаты измерений и их обсуждение.

Результаты измерений комплексного показателя преломления $n - i\varkappa$ сплава V_3Si приведены на рисунке I, где указана также ошибка измерений. Сглаженные данные приводятся в таблице I.

Таблица I

λ, мкм	n	ϰ	λ, мкм	n	ϰ
3,00	3,32	5,89	6,00	5,80	I0,5
3,23	3,80	6,45	6,50	6,30	II,I
3,50	3,85	6,86	7,00	6,78	II,7
3,76	3,96	7,25	7,50	6,96	I2,I
4,00	4,0I	7,57	8,00	6,90	I2,5
4,24	4,09	7,87	8,50	7,28	I2,8
4,50	4,26	8,30	9,00	7,92	I3,2
4,75	4,40	8,39	9,50	8,65	I3,6
5,00	4,70	9,07	I0,00	9,29	I3,9
5,50	5,24	9,79			

Как будет ясно из дальнейшего, для изучаемого сплава при комнатной температуре осуществляется нормальный скин-эффект. Поэтому в спектральной области, где влиянием межзонных переходов можно пренебречь, связь концентрации N электронов проводимости и их



Р и с. I. Зависимость ϰ (I) и n (2) сплава V_3Si от λ

эффективной частоты соударений ν с оптическими постоянными дается формулами /I/:

$$N = 0{,}1115(1+\varkappa^2-n^2)\left[1+4n^2\varkappa^2/(1+\varkappa^2-n^2)\right]\cdot 10^{22}/\lambda^2 \text{ см}^{-3},$$
$$\nu = \left\{37{,}68n\varkappa/\left[(1+\varkappa^2-n^2)/\lambda\right]\right\}10^{14} \text{ сек}^{-1}. \qquad (I)$$

Здесь λ – длина волны света в мкм. Анализ полученных результатов (рис. I и табл. I) показывает, что V_3Si имеет слабые полосы межзонных переходов в спектральных областях около 3 и 6÷7 мкм. Поэтому формулы (I) использовались нами в интервале длин волн 8÷10 мкм. Средние значения N и ν в указанном интервале приведены в таблице 2. При дополнительных измерениях в коротковолновой области возможно полное разделение вкладов в комплексную диэлектрическую проницаемость электронов проводимости и всех существенных полос межзонных переходов и дальнейшее уточнение N и ν.

Таблица 2

Характеристика	V_3Si	V	V_3Ga	Nb_3Sn
N, 10^{22} $см^{-3}$	0,7I	2,00	2,2	I,2
N/N_a	0,094	0,27	0,33	0,23
$N/N_{вал}$	0,020	0,055	0,07	0,05
η	4,75	5	4,5	4.75
v_F, 10^8 см $сек^{-I}$	0,36	0,6	0,65	0,49
v_F/v_F^o	0,I4	0,23	0,27	0,22
S_F, 10^{-37} $г^2см^2сек^{-2}$	0,95	I,9	I,6	I,2
S_F/S_F^o	0,I4	0,23	0,27	0,22
E_F^o, эв	I8,5	-	I6,6	I4,6
ν, 10^{I4} $сек^{-I}$	4,0	3,0	8,6	2,9
$\nu_{ep}^{кл}$, 10^{14} $сек^{-I}$	2,2	0,99	2,2	I,4
ν_{ed}, 10^{14} $сек^{-I}$	0,37	-	3,3	0,9
l, 10^{-6} см	0,09	0,2	0,08	0,I7
δ, 10^{-6} см	8,7	5	7,5	7,7
T °K	I6,65	4,9	I3,7	I7,6
λ_{eph}	0,90	0,4I	0,92	0,58

Микрохарактеристики V_3Si даны в таблице 2, где для сравнения приводятся соответствующие данные для V /3/, V_3Ga /4/ и Nb_3Sn /5/. Здесь N_a - концентрация атомов; $N_{вал}$ - концентрация валентных электронов; η - валентность; v_F - средняя скорость электронов на поверхности Ферми; S_F - полная площадь поверхности Ферми; E_F^o - энергия Ферми. Верхний индекс о указывает, что соответствующая величина относится к свободным электронам при концентрации, равной валентной; $\nu_{ep}^{кл}$ - классическая частота соударений электронов с фононами, ν_{ed} - частота соударений с примесями и дефектами решетки; l - длина свободного пробега; δ - глубина скин-слоя; λ_{eph} - константа электрон-фононного взаимодействия. При вычислении v_F и S_F мы использовали формулы работы /I/. Вычисление λ_{eph} проводилось по формуле работы /6/.

Как видно из таблицы, $l \ll \delta$, что указывает на нормальный характер скин-эффекта.

Сплав V_3Si имеет наименьшие среди приведенных в таблице значения электронных характеристик N, N/N_a, $N/N_{вал}$, v_F и S_F. Существенно отметить, что при малом значении N сплав V_3Si обладает высоким T_c. Сравнение V_3Si с V_3Ga показывает, что увеличение N приводит к понижению T_c. Сравнение всех трех сплавов с решеткой A15 показывает, что зависимость T_c от N немонотонная, а имеет максимум. Немонотонная зависимость отмечалась ранее в работе /7/. Все это указывает на то, что не все электроны проводимости одинаково полезны для явления сверхпроводимости. Мы полагаем, что наиболее существенны для сверхпроводимости электроны, состояния которых в импульсном пространстве описываются точками, близкими к брэгговским плоскостям.

Величины $\nu^{кл}_{ер}$ для V_3Si и V_3Ga близки между собой и больше соответствующих величин для V и Nb_3Sn. Это указывает на то, что взаимодействие электронов проводимости с решеткой в V_3Si и V_3Ga примерно одинаково и больше, чем у V и Nb_3Sn.

В заключение выражаем благодарность Н. Н. Лобанову за проведение рентгеноструктурного анализа наших образцов.

Поступила в редакцию
7 декабря 1976 г.

Литература

1. Г. П. Мотулевич, УФН, 97, 211 (1969); Труды ФИАН, 55, 3 (1971).
2. Г. П. Мотулевич, А. А. Шубин, Опт. и спектроскопия, 11, 633 (1957).
3. И. Д. Маш, Труды ФИАН, 82, 3 (1975).
4. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 57, 74 (1969); Препринт ФИАН, № 44, 1969 г.
5. А. И. Головашкин, Е. Д. Доннер, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 59, 1967 (1970); Препринт ФИАН, № 6, 1971 г.
6. Е. Г. Максимов, Г. П. Мотулевич, ЖЭТФ, 61, 414 (1971).
7. А. И. Головашкин, Г. П. Мотулевич, ФТТ, 13, 1232 (1971).