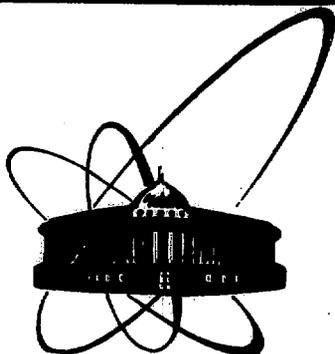


SI 2209343 ✓



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

14-81-841

И.Вавра, А.В.Скрыпник

АНАЛИЗ ПЛЕНОК $Nb+Sn$
МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Направлено в журнал "ПТЭ"

1981

Хорошо известным в технологии изготовления сверхпроводящего соединения Nb_3Sn является метод реактивной диффузии^{/1/}. На первом этапе получают на ниобиевой подложке соединения, богатые оловом: Nb_5Sn_8 и $NbSn_2$ /будем обозначать их в дальнейшем как $Nb+Sn$ /, а затем проводят окончательную термообработку, при которой образуется соединение Nb_3Sn . Понятно, что желательным является контроль состава покрытия $Nb+Sn$ после первого этапа, так как количеством атомов олова определяется и толщина слоя Nb_3Sn .

В работе методом обратного рассеяния /упругое рассеяние на большие углы/ проанализированы пленки чистых элементов Nb и Sn , которые были приготовлены на подложках из монокристаллического кремния путем электронно-плазменного испарения в вакууме $\sim 10^{-4}$ Па, а также пленки $Nb+Sn$, приготовленные в результате совместного напыления Nb и Sn .

Толщина пленок определяется методом интерференции монохроматического света с помощью микроскопа *Varian* с точностью не хуже $+50$ нм. Исследование образцов проводилось пучками ионов $^3He^+$, $^4He^+$ с энергией $E_0=3,0$ МэВ. Рассеянные частицы регистрировались кремниевым поверхностно-барьерным детектором с энергетическим разрешением 18 кэВ, расположенным под углом 135° к первичному пучку ионов. Спектры регистрировались многоканальным анализатором типа DIDAC на 1000 каналах.

Энергия E_1 рассеивающихся от поверхности частиц определяется по известной формуле^{/2/}:

$$E_1 = K_{SC} \cdot E_0, \quad //$$

где K_{SC} - кинематический фактор рассеяния, зависящий от угла рассеяния и атомных масс частиц пучка и мишени. Вследствие энергетических потерь частиц пучка при его прохождении через пленку спектры имеют разную ширину ΔE , один из спектров схематически изображен на рис.1. Между шириной спектров ΔE и толщиной пленок d существует до определенной толщины линейная зависимость

$$\Delta E = [S] \cdot d, \quad //$$

где $[S]$ - параметр энергетических потерь. Коэффициент $[S]$ зависит от кинематического фактора рассеяния K_{SC} и тормозной способности материала пленки. Теоретически $[S]$ вычисляется из

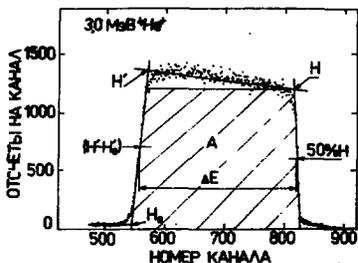


Рис.1. Энергетический спектр частиц ${}^4\text{He}^+$, упруго рассеянных на пленке ниобия толщиной 0,93 мкм.

зависимости атомного тормозного сечения от энергии иона. Зная величину $[S]$, можно энергетическую шкалу спектра перевести в глубинную.

Анализ спектров обратного рассеяния серий пленок ниобия и олова разной толщины позволил получить зависимости $\Delta E = f(d)$ для ионов пучка ${}^3\text{He}^+$ и ${}^4\text{He}^+$ /рис.2/. По углу наклона прямой части зависимостей $\Delta E = f(d)$ вычислены значения $[S]_{\text{Nb}}^{3\text{He}} = 780$ эВ/нм; $[S]_{\text{Sn}}^{3\text{He}} = 650$ эВ/нм; $[S]_{\text{Nb}}^{4\text{He}} = 900$ эВ/нм; $[S]_{\text{Sn}}^{4\text{He}} = 750$ эВ/нм. Постоянство параметров $[S]$ до толщины пленок $\sim 1,3$ мкм позволяет определять состав пленок Nb + Sn до такой же толщины: площадь спектра Δ /см. рис.1/ без учета наклона плато из-за так называемого skewing-эффекта^{3/} пропорциональна количеству атомов вещества в единице объема $N^{1/4}$;

$$A = \Delta E \cdot N = Q \Omega \sigma N d, \quad /3/$$

где Q - общее число частиц, попадающих на мишень; Ω - телесный угол активной поверхности детектора; σ - дифференциальное сечение упругого рассеяния*.

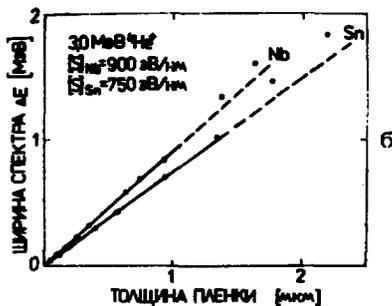
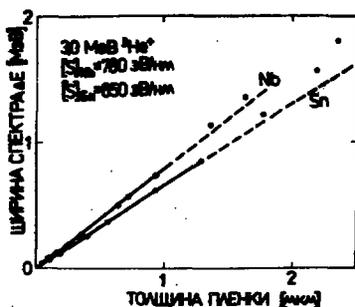


Рис.2. Зависимость энергетической ширины спектров ΔE ниобиевых и оловянных пленок от их толщины для ${}^3\text{He}^+$ /а/ и ${}^4\text{He}^+$ /б/.

* Величины K_{SC} , σ для разных элементов и ${}^4\text{He}^+$ частиц пучка приведены в приложении.

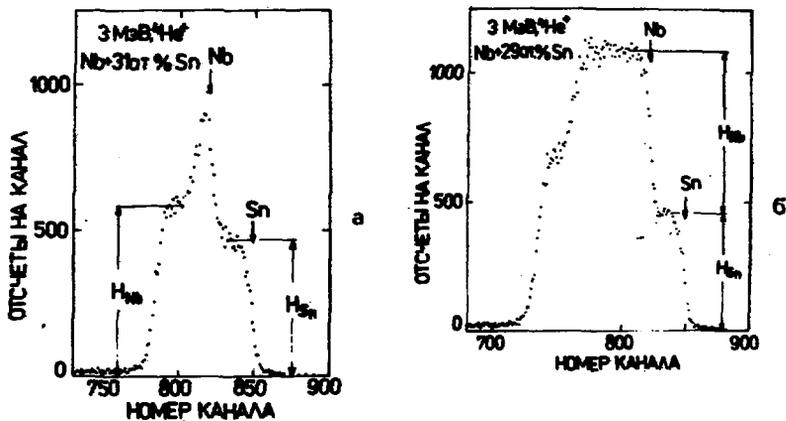


Рис.3. Энергетические спектры частиц $^4\text{He}^+$, упруго рассеянных от Nb+Sn пленок; толщина пленки 120 нм /а/ и 330 нм /б/.

Соотношение атомных концентраций вычисляется с помощью /2/ и /3/:

$$\frac{N_{\text{Sn}}}{N_{\text{Nb}}} = \frac{A_{\text{Sn}} \sigma_{\text{Nb}} [S]_{\text{Sn}} \sigma_{\text{Nb}} H_{\text{Sn}}}{A_{\text{Nb}} \sigma_{\text{Sn}} [S]_{\text{Nb}} \sigma_{\text{Sn}} H_{\text{Nb}}} \quad /4/$$

На основе этого выражения определен состав пленок Nb+Sn, энергетические спектры которых приведены на рис.3. Следует отметить, что из-за близости значений энергий ионов, рассеиваемых от атомов Nb и Sn, находящихся на поверхности, энергетические спектры Nb и Sn накладываются друг на друга. Поэтому точность определения состава зависит от точности разложения спектра по отдельным элементам, а соответственно от точности измерения высот пикто H_{Sn} и H_{Nb} , и равна ~1 ат%.

На рис.4 приведен спектр, характеризующий Nb_3Sn , приготовленный на подложке из ниобия. Хотя о стехиометрии соединения Nb_3Sn проще и точнее судить по измерению критической температуры: перехода в сверхпроводящее состояние, обратное рассеяние дает дополнительную информацию о равномерности распределения компонент по глубине. По положению заднего фронта спектра около канала 510 /рис.4/, используя параметр энергетических потерь, можно оценить толщину слоя Nb_3Sn / ~1,3 мкм/.

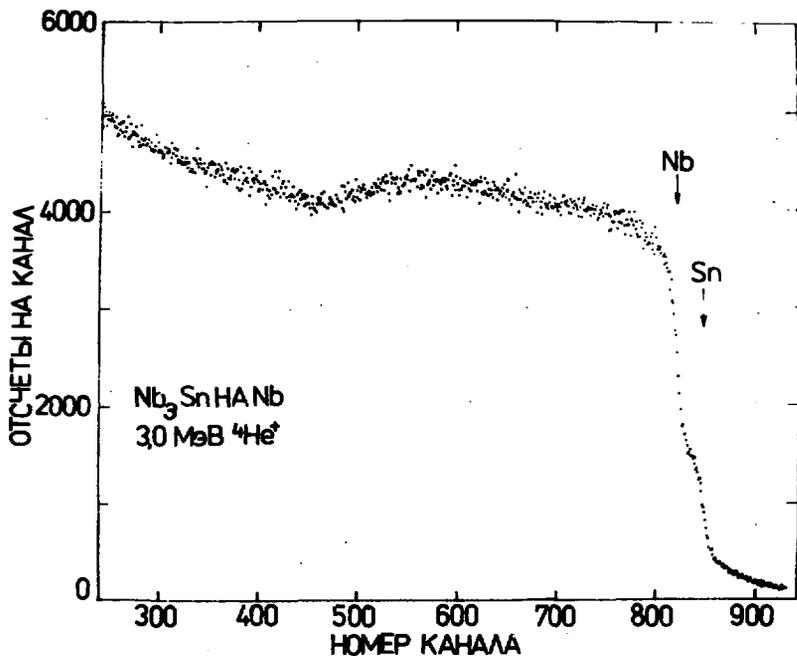


Рис.4. Энергетический спектр ${}^4\text{He}^+$, упруго рассеянных от Nb_3Sn - пленки, приготовленной на ниобии.

Приложение

Значения кинематического фактора рассеяния $K_{\text{вс}}$ и дифференциального сечения упругого рассеяния σ для некоторых элементов периодической таблицы Менделеева

Элемент	Z_2 -ат. номер	m_2 -ат. масса	$\sigma, \text{м}^2$	$K_{\text{вс}}$
Li	3	6,941	$4,7713\text{E}-51$	0,10272
Be	4	9,10248	$1,1288\text{E}-50$	0,19356
B	5	10,811	$1,9674\text{E}-50$	0,26347
C	6	12,01115	$2,9619\text{E}-50$	0,30492
N	7	14,0067	$4,2313\text{E}-50$	0,36548

Эле- мент	Z ₂ -ат. номер	m ₂ -ат. масса	σ, м ²	K _{sc}
O	8	15,9994	5,6973E-50	0,41703
F	9	18,9984	7,4179E-50	0,48124
Ne	10	20,179	9,2291E-50	0,50295
Na	11	22,9898	1,1322E-49	0,54816
Mg	12	24,305	1,3539E-49	0,56668
Al	13	26,98154	1,6012E-49	0,60011
Si	14	28,086	1,8617E-49	0,61247
P	15	30,9738	2,1487E-49	0,64150
S	16	32,064	2,4488E-49	0,65138
Cl	17	35,453	2,7761E-49	0,67890
Ar	18	39,948	3,1248E-49	0,70938
K	19	39,098	3,4793E-49	0,70407
Ca	20	40,08	3,8581E-49	0,71019
Sc	21	44,956	4,2664E-49	0,73722
Ti	22	47,90	4,6889E-49	0,75124
V	23	50,942	5,1309E-49	0,76424
Cr	24	51,996	5,5888E-49	0,76844
Mn	25	54,938	6,0698E-49	0,77940
Fe	26	55,847	6,5667E-49	0,78258
Co	27	58,9332	7,0870E-49	0,79272
Ni	28	58,71	7,6213E-49	0,79202
Cu	29	63,546	8,1836E-49	0,80625
Zn	30	65,38	8,7605E-49	0,81114
Ga	31	69,72	9,3605E-49	0,82181
Ge	32	72,59	9,9778E-49	0,82823
As	33	74,9216	1,0614E-48	0,83311
Se	34	78,96	1,1272E-48	0,84094
Br	35	79,904	1,1946E-48	0,84267
Kr	36	83,80	1,2642E-48	0,84941
Rb	37	85,4678	1,3356E-48	0,85212
Sr	38	87,62	1,4090E-48	0,85549
Y	39	88,9059	1,4843E-48	0,85742
Zr	40	91,22	1,5616E-48	0,86078
Nb	41	92,9064	1,6408E-48	0,86313
Mo	42	95,94	1,7221E-48	0,86716
Tc	43	98,9062	1,8054E-48	0,87088
Ru	44	101,07	1,8905E-48	0,87346

Элемент	Z ₂ -ат. номер	m ₂ -ат. мвоч	$\sigma, \text{м}^2$	K _{sc}
Rh	45	102,9055	1,9776E-48	0,87558
Ni	46	106,4	2,0667E-48	0,87941
Ag	47	107,868	2,1577E-48	0,88095
Cd	48	112,40	2,2508E-48	0,88547
In	49	114,82	2,3458E-48	0,88774
Sn	50	118,69	2,4428E-48	0,89120
Sb	51	121,75	2,5417E-48	0,89379
Te	52	127,60	2,6427E-48	0,89840
I	53	126,9044	2,7453E-48	0,89787
Xe	54	131,30	2,8501E-48	0,90112
Cs	55	132,9054	2,9567E-48	0,90226
Ba	56	137,34	3,0655E-48	0,90525
La	57	138,906	3,1760E-48	0,90628
Hf	72	178,49	5,0700E-48	0,92628
Ta	73	180,948	5,2119E-48	0,92725
W	74	183,85	5,3558E-48	0,92835
Re	75	186,207	5,5017E-48	0,92923
Os	76	190,2	5,6495E-48	0,93066
Ir	77	192,22	5,7992E-48	0,93136
Pt	78	195,09	5,9509E-48	0,93234
Au	79	196,9665	6,1046E-48	0,93296
Hg	80	200,59	6,2602E-48	0,93413
Tl	81	204,37	6,4179E-48	0,93531
Pb	82	207,19	6,5774E-48	0,93616
Bi	83	208,9804	6,7389E-48	0,93669
Po	84	209	6,9022E-48	0,93670
At	85	210	7,0676E-48	0,93699
Rn	86	222	7,2353E-48	0,94029
Fr	87	223	7,4045E-48	0,94055
Ra	88	226,0254	7,5758E-48	0,94132
Ac	89	227	7,7490E-48	0,94157
Th	90	232,0381	7,9243E-48	0,94280
Pa	91	231,0359	8,1013E-48	0,94256
U	92	238,03	8,2806E-48	0,94420

ЛИТЕРАТУРА

1. Сверхпроводящие материалы /под ред. Е.М.Савицкого/.
"Металлургия", М., 1976.
2. Ziedler J. Thin Solid Films, 1973, 19, p. 289.
3. Brice D.K. Thin Solid Films, 1973, 19, p. 121.
4. Feng I.S.-Y. et al. Thin Solid Films, 1973, 19, p. 175.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1981 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

D1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
D-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
D9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
D2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Вавра И., Скрыпник А.В. Анализ пленок Nb+Sn
методом обратного рассеяния

14-81-841

Определены значения параметров энергетических потерь [S] обратного рассеяния частиц $^3\text{He}^+$ и $^4\text{He}^+$ на ниобии и олове. Показано, что на основе полученных значений [S] возможен анализ состава Nb+Sn пленок до толщины $\sim 1,3$ мкм.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1981

Vavra I., Skrypnik A.V. Analysis of Nb+Sn Films
by the Backscattering Method

14-81-841

The parameters of energy losses [S] of $^3\text{He}^+$ and $^4\text{He}^+$ particles backscattered on Nb and Sn are obtained. It is shown that on the basis of the obtained values of [S] it is possible to analyse the composition of Nb+Sn films up to their thickness ~ 1.3 m.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1981

Перевод О.С.Виноградовой.

Редактор Т.Я.Жабицкая. Макет Н.А.Киселевой.
Набор Н.П.Сергеевой, Н.И.Коротковой.

Подписано в печать 18.02.82.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,74.
Тираж 315. Заказ 30798.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.