

О МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЯХ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ХРОМА

В.А.Гордиенко, В.И.Николаев

Большой интерес к изучению электрических и магнитных свойств хрома, который проявляется в настоящее время, связан прежде всего с рядом особенностей его электронной конфигурации. Так, с точки зрения зонной структуры электронная конфигурация d^5s^1 соответствует области перехода от парамагнетиков Паули (ОЦК металлы подгрупп IVa и Va периодической системы элементов) к антиферромагнетикам (ОЦК металлы подгруппы VIIa). О том, что хром действительно находится в переходной области свидетельствует, например, сравнительно небольшой магнитный момент, приходящийся на один атом ($\sim 0,4 \mu_B$) и сильная чувствительность точки Нееля к примесям [1]: малые добавки ванадия резко понижают T_N , а наличие в хrome менее 0,5 ат.% Mn приводит к резкому возрастанию T_N с 311 до 475°К. Интересно, что марганец при этом способствует стабилизации антиферромагнитной структуры хрома [2].

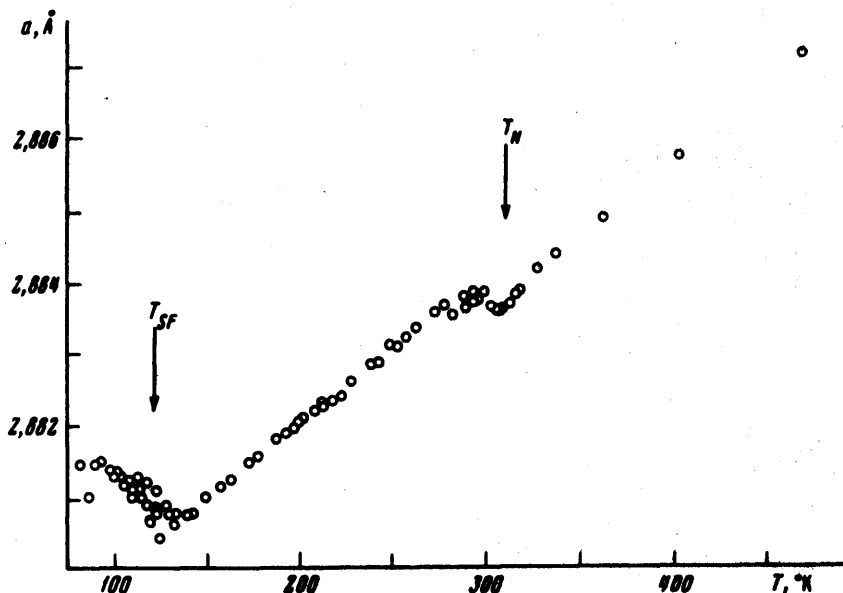
Недавно появился ряд работ, свидетельствующих о существовании аномалий в изменении параметров кристаллической решетки хрома (и макроскопических размеров образца в целом) при появлении магнитного упорядочения [3-5]. В связи с этим нами была предпринята попытка непосредственного рентгеноструктурного определения зависимости параметров решетки хрома от температуры.

Хром имеет кубическую объемноцентрированную решетку, которая, как предполагается, имеет орторомбические искажения в области температур $120 < T < 311^\circ\text{K}$ и тетрагональные искажения —

при $T < 120^\circ\text{K}$ [6]. Тщательно проведенные рентгенографические исследования показали, однако, что относительная величина этих искажений $\Delta a/a$ не превышает 10^{-5} , так что обычными рентгеновскими методами обнаружить их нельзя [7]. (Отметим, что этот результат согласуется с результатами изучения формы дифракционных максимумов при различных температурах в нашей работе).

Исследования проводились на образце, содержащем примесей не более 0,018% (азота и кислорода соответственно не более 0,010 и 0,008%), с которого предварительно были сняты механические напряжения путем электрохимического травления.

В процессе измерений температура образца автоматически поддерживалась с точностью не хуже $0,05^\circ$. Перед измерениями образец выдерживался при каждой температуре не менее 2–3 часов. Для повышения точности расчетов использовался метод съемки дифракционного пика (112) по точкам (через каждые $2^\circ - 3^\circ$).



Зависимость параметров кристаллической решетки антиферромагнитного хрома от температуры

Результаты расчета параметров решетки a при различных температурах представлены на рисунке. Из рисунка видно, что имеются две области аномального изменения параметров решетки хрома: при появлении магнитного упорядочения (вблизи T_N) и ниже температуры T_{SF} фазового перехода, связанного с изменением характера магнитного порядка. Очевидно, обе аномалии на зависимости $a(T)$ вызваны появлением спонтанной стрикции λ_s положительного знака ниже температур T_N и T_{SF} . Большую величину спонтанной магнитострикции легко объяснить сильной зависимостью обменных взаимодействий от межатомных расстояний, о чем свидетельствует сильная зависимость температур T_N и T_{SF} от давления [4,8,9].

Знак спонтанной стрикции при появлении магнитного упорядочения при T_N так же может быть объяснен на основании довольно простых соображений. Легко видеть, что в случае зависимости обменной энергии $E_{\text{обм}}$ от межатомных расстояний для величины объемной спонтанной магнитострикции имеем:

$$\Delta V_s \sim - \frac{\partial E_{\text{обм}}}{\partial V} \sim - \frac{\partial E_{\text{обм}}}{\partial r}.$$

Воспользовавшись теперь обычной связью величины обменной энергии и T_N , получим

$$\lambda_s = \frac{\Delta \sigma_s}{\sigma} = \frac{1}{3} \frac{\Delta V_s}{V} = -\beta \frac{\partial T_N}{\partial r} \quad (\beta > 0).$$

Таким образом, величина и знак спонтанной магнитострикции определяются величиной и знаком производной $\partial T_N / \partial r$. Для хрома $\partial T_N / \partial r < 0$, так что переход в область магнитного упорядочения должен сопровождаться появлением положительной спонтанной стрикции.

Тем не менее, характер зависимости $\lambda_s(T)$ вблизи T_N , по-видимому, свидетельствует о том, что вблизи температуры Нееля мы имеем дело с фазовым переходом первого рода. Такое утверждение согласуется с результатами нейтронографических исследований [10, 11] и результатами рентгенографического определения температурной зависимости интенсивности дифракционных максимумов в хrome [12].

Заметим, что при комнатной температуре величина аномалии $\Delta \sigma_s$, вызванной появлением магнитного упорядочения (и равной $\sim 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$) хорошо согласуется с аналогичным значением, которое можно получить из данных по исследованию зависимости $\sigma(r)$ при той же температуре ($\Delta \sigma \approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$).

Физический факультет
Московского
государственного университета
им.М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
12 мая 1971 г.

Литература

- [1] De Vries G. J. Phys. Rad., 20, 438, 1959.
- [2] G.E.Vacor, N.Cowlam. J.Phys. C. (Solid Stat.Phys.), сер. 2, 2, 238, 1969.
- [3] E.W.Lee. M.A.Asgar. Phys. Rev. Lett., 22, 1436, 1969.
- [4] W.E.Evenson, H.T.Mall. Science, 150, 1164, 1965.
- [5] Е.И.Кондорский, Т.И.Костина, Л.Н.Экономова, В.А.Большаков. Письма в ЖЭТФ, 12, 427, 1970.

- [6] M.O.Steinitz, L.H.Schwartz, J.A.Marcus, E.Fawcett, W.A.Reed. Phys. Rev. Lett., 23, 979, 1969.
- [7] F.H.Comley. Acta Cryst., B24, 142, 1967.
- [8] T.Mitsui, C.T. Tomizuka. Phys. Rev., 137, 564A, 1965.
- [9] H.Umebayashi, G.Shirane, B.C.Frazer, W.B.Daniels. J.Phys. Soc. Japan, 24, 368, 1968.
- [10] S.A.Werner, A.Arrott, H.Kendrick. Phys. Rev., 155, 528, 1968.
- [11] A.Nielsen J., O.W.Dietrich. Phys. Rev. Lett. 22, 290, 1969.
- [12] Е.И.Гешко. Укр. физ. журн., 14, 335, 1969.
-