

НОВЫЙ ТИП СВЕРХСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ (100) КУБИЧЕСКОГО ГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО АНТИФЕРРОМАГНЕТИКА EuTe

В.А.Гражулис, А.М.Ионов, В.Ф.Кулешов

Впервые экспериментально обнаружено, что на чистой поверхности (100) кубического антиферромагнитного полупроводника EuTe при $T \lesssim T_N \sim 9,6$ К возникает сверхструктура $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})R - 45^\circ$, несовместимая с объемной спиновой структурой, причем формирование этой сверхструктуры при прохождении через T_N со стороны высоких T идет через формирование "промежуточной" модулированной сверхструктуры, переходящей в $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})R - 45^\circ$ с понижением T . Волновой вектор к модулированной сверхструктуре обратимо меняется с изменением T от центра $k=0$ до края двумерной квадратной зоны Бриллюэна, оставаясь всегда ориентированным вдоль диагонали зоны.

Кристаллы EuTe относятся к классу ионных гейзенберговских антиферромагнитных полупроводников с кубической решеткой типа NaCl . Магнитными являются ионы Eu^{2+} , $S = 7/2$. При $T < T_N$, где T_N – температура Нееля ($\sim 9,6$ К), в объеме кристалла возникает антиферромагнитное упорядочение с пространственной спиновой решеткой, показанной на рис. 1, а.

Методом дифракции медленных электронов (ДМЭ) ранее нами было показано ¹, что чистые поверхности сколов EuTe (100) обладают нереконструированной атомной структурой (1 x 1) во всем интервале $T = 10 - 300$ К. В настоящей работе были проведены дополнительные исследования поверхностей EuTe (100) методом ДМЭ при более низких T , включая $T_N \sim 9,6$ К, а именно, в интервале 8 – 15 К. Заметим, что исследование поверхностных структур магнетиков в окрестности T_N ранее было проведено, насколько нам известно, лишь для поверхностей NiO ^{2,3}. Кристаллы EuTe и NiO обладают одинаковыми типами решеток и одинаковыми спиновыми структурами при $T < T_N$. Для NiO (100) при $T < T_N \sim 520$ К было обнаружено появление слабых сверхрефлексов в картине ДМЭ (рис. 1), свидетельствующих о возникновении на поверхности (100) спинового упорядочения (рис. 1, б), являющегося следствием объемного антиферромагнитного упорядочения (рис. 1, а).

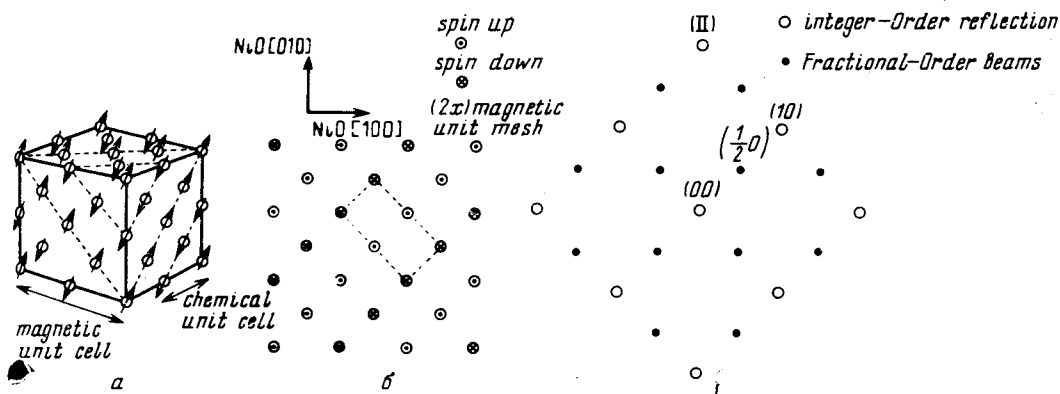


Рис. 1. Спиновое упорядочение и дифракция медленных электронов на NiO (из работы ²): а – спиновое упорядочение NiO , б – спиновое упорядочение на поверхности NiO (100), в – схема дифракции медленных электронов на NiO (100) ниже T_N (дифракция от нескольких доменов)

В настоящей работе были проведены эксперименты на кристаллах EuTe n -типа, $\rho \sim 5$ Ом·см, выращенных газотранспортным методом с избытком Eu . Характерные размеры кристаллов были $1,5 \times 2 \times 5$ мм³. Скол кристаллов по плоскости (100) и наблюдение картин ДМЭ осуществлялось в вакууме $\sim 10^{-10}$ торр с использованием низкотемпературных держателей образцов, разработанных нами ранее (кристалл зажимался в держателе медными винтами, направление сжатия близко к [100]).

После скальвания кристаллов EuTe при 15 К наблюдается четкая картина ДМЭ рис. 2, а, соответствующая нереконструированной поверхности EuTe (100) – 1 x 1 ¹. С понижением T возникает интересное явление – появляются сверхрефлексы, которые первоначально отщепляются от основных рефлексов и движутся с понижением температуры по направлению одной из диагоналей к центрам квадратов (см. рис. 2, б). Сверхрефлексы видны в интервале $E_p = 80 - 140$ эВ, а основные – в интервале 80 – 650 эВ, где E_p – энергия первичного пучка электронов. При $T \sim 8$ К все сверхрефлексы оказываются локализованными в центрах квадратов. В итоге возникает картина ДМЭ, показанная на рис. 2, б. Многократное сканирование температуры в интервале 8 – 15 К показало полностью обратимый характер изменений картины ДМЭ.

Отметим, что как и в экспериментах с NiO ³ сверхрефлексы нам удалось наблюдать не на всех кристаллах, а именно, лишь на одном из трех исследованных кристаллов EuTe . Картина ДМЭ со сверхрефлексами уверенно наблюдалась в течение нескольких часов в вакууме

$\sim 10^{-10}$ торр. Последующий отогрев образца до $T \sim 300$ К за время ~ 40 мин приводил в наших экспериментах к повышению давления в камере до $\sim 5 \cdot 10^{-9}$ торр, что, по-видимому, приводило к некоторому неконтролируемому загрязнению поверхности скола. Оказалось, что при повторном понижении T (после отогрева до ~ 300 К) сверхрефлексы не возникают вообще, хотя основные рефлексы по-прежнему видны четко при всех значениях T . Можно в связи с этим, предположить, что для появления сверхструктурных рефлексов необходимо, чтобы сколатая поверхность EuTe (100) обладала высокой степенью чистоты и, возможно, кристаллографического совершенства.



Рис. 2. Дифракция медленных электронов на поверхности EuTe (100): а — $T = 15$ К, б — $T \sim 8$ К (крестами отмечено несколько сверхрефлексов)

Волновой вектор k , характеризующий сверхструктуру, при изменении T пробегает значения от $k = 0$ до $k = k_0$, где k_0 — вектор, соответствующий точкам типа X (центр зоны Бриллюэна) см. рис. 3, в. Ясно, что промежуточные значения k соответствуют несоизмеримым сверхструктурам. Подчеркнем, что обнаруженная нами низкотемпературная сверхструктура $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})R - 45^\circ$ (рис. 3, б) принципиально отличается от ожидаемой сверхструктуры 2×1 , показанной на рис. 1, б т.е. возникающая поверхностная сверхструктура EuTe (100) при $T < T_N$ не совпадает с объемной, в отличие от NiO (100). Это, вместе с промежуточной несоизмеримостью, является принципиально новым результатом.

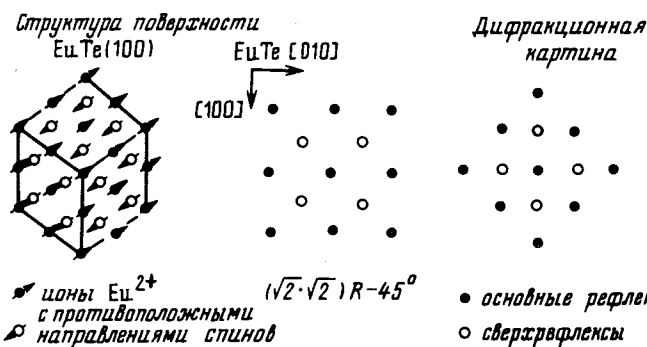


Рис. 3. Спиновое упорядочение на поверхности EuTe (100): а, б — структура поверхности EuTe (100) (ионы Te^{-2} не показаны, в — схема дифракции медленных электронов на EuTe (100) при $T \sim 8$ К

Есть основание предполагать, что обнаруженные сверхрефлексы в картине ДМЭ обусловлены, также, как и в случае NiO (100), обменным рассеянием первичного (неполяризованного по спину) пучка электронов на спиновой решетке, возникающей при $T < T_N$. Конечно, в при-

нице возможен вклад в интенсивность сверхрефлексов и некоторой атомной реконструкции поверхности, сопровождающей магнитное упорядочение, однако, величина этого эффекта остается пока неизвестной. Образование несоизмеримой сверхструктуры, переходящей в $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})R - 45^\circ$, может быть обусловлено, по нашему мнению, формированием при $T < T_N$ несоизмеримой геликоидальной спиновой структуры в области поверхности EuTe (100). В объеме EuTe возникает упорядочение с углом разворота спинов в соседних плоскостях, равным π , что соответствует антиферромагнитному упорядочению спинов, показанному на рис. 3, а. Очевидно, что если допустить развороты спинов в соседних плоскостях на некоторый произвольный угол вблизи поверхности (100), тогда это приведет к образованию на самой поверхности спиновой сверхструктуры с несоизмеримой периодичностью вдоль $[100]$, см. рис. 3, а, в качественном согласии с полученными нами экспериментальными результатами. Для выяснения детального механизма формирования обнаруженных поверхностных сверхструктур, при отсутствии таковых в объеме, необходимы дополнительные экспериментальные исследования. В частности, необходимо выяснить зависимость $k(T)$ и определить характер фазового перехода на поверхности EuTe в окрестности T_N .

Авторы выражают благодарность В.Л.Покровскому за полезные обсуждения работы.

Литература

1. Гражулис В.А., Ионов А.М., Кулешов В.Ф. Поверхность, 1985, №2, с. 94.
2. Palmberg P.W., De Wames R.E., Vredevoe L.A., Wolfram T. J. Appl. Rhys., 1969, 40, 1158.
3. Hayakawa K., Namikawa K., Miyake S. J. Phys. Soc. of Japan, 1971, 31, 1408.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 мая 1987 г.