

УФН 1981

39

Для оценки эффективности механизмов релаксации горячих носителей примем $\kappa=20$, $\rho=8$ г/см³, $M=20m$, $m=0,02m_0$ (m_0 —масса свободного электрона), $n=p=10^{15}$ см⁻³, $N_i=10^{21}$ см⁻³, $T=4,2$ К, $T_e=20$ К, $I_0=0,4 \cdot 10^{-22}$ эВ·см³ [5], $H=10^4$ Э, $E_1=20$ эВ. В этом случае отношение частот релаксации составляет по порядку величины

$$\Omega_{ed}/\Omega_{eh} \approx 10^{-3}, \quad \Omega_{ed}/\Omega_{eph} \approx 1. \quad (12)$$

Из приведенных оценок следует, что рассеяние электронов проводимости на флуктуациях локализованных спинов вносит вклад в баланс энергии, сравнимый с вкладом рассеяния на акустических фононах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев В. М., Поморцев Р. В. Магнитофононный резонанс в бесщелевых полупроводниках в условиях разогрева электронов и дырок.— ЖЭТФ, 1978, 75, № 3, с. 924—934.
2. Зубарев Д. Н. Неравновесная статистическая термодинамика. М.: Наука, 1971. 415 с.
3. Гельмонт Б. Л., Иванов-Омский В. И., Цидильковский И. М. Электронный энергетический спектр бесщелевых полупроводников.— УФН, 1976, 120, № 3, с. 337—362.
4. Liu L., Tan M. Dielectric constant and anomalous magnetoresistance of zero-gap semiconductors.— Phys. Rev. B, 1974, 9, N 2, p. 632—635.
5. Kossut J. On the scattering of conduction electrons by magnetic impurities in semiconductors of InSb and HgTe band structure.— Phys. status solidi. B, 1975, 72, N 1, p. 359—367.

Институт физики металлов УНЦ АН СССР,
г. Свердловск

Поступило в редакцию
23. VI 1980 г.

УДК 621.318.151

Н. А. Миронова, А. И. Беляева, О. В. Милославская,
Г. В. Бандуркина

ОСОБЕННОСТИ ЗАРОЖДЕНИЯ Т-ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Ni_{1-c}Mg_cO$

Антиферромагнитное упорядочение в NiO при 523 К сопровождается ромбоэдрической деформацией кубической решетки с осью сжатия вдоль направления [111], перпендикулярного плоскости (111), в которой лежат спины. В результате происходит двойникование кристалла: он разбивается на области (Т-домены), в каждой из которых осью сжатия является одно из четырех направлений типа [111]. При этом один двойник отделяется от другого плоскостями типа (100). Таким образом, наиболее естественным механизмом, ответственным за появление магнитного двулучепреломления в NiO, является пьезооптический эффект, вызванный спонтанной деформацией решетки — магнитострикцией. Именно на явлении магнитного двулучепреломления основано визуальное исследование доменной структуры в магнитоупорядоченном NiO [1].

Однако вопрос о корреляции температуры, при которой появляется доменная структура (ДС), с температурой перехода кристалла в антиферромагнитное состояние (температурой Нееля T_N) до сих пор является дискуссионным [2—4]. Авторы [3, 4] считают, что ромбоэдрическая деформация в NiO сопровождает антиферромагнитное упорядочение [3] и ДС не изменяется вплоть до T_N [4]. Согласно [2] спиновое упорядочение не сопровождается деформацией кубической решетки, которая появляется при более низкой температуре.

Для решения этого вопроса в настоящей работе проведено визуальное изучение ДС эпитаксиальных монокристаллов системы $Ni_{1-c}Mg_cO$ ($c=0-0,7$) в широком интервале температур ($4,2 \leq T \leq 550$ К). Исследуемые монокристаллы $Ni_{1-c}Mg_cO$ выращены

вались эпитаксиально на монокристаллических подложках из MgO методом химических транспортных реакций в малом зазоре [5]; эти подложки получались скалыванием кристалла по плоскости спайности (100). Толщины исследуемых образцов варьировались в пределах 50—110 мкм, степень монокристалличности их проверялась рентгенографически, ДС наблюдалась с помощью поляризационного микроскопа МИН-8. Образец помещался в специальный проточный оптический криостат [6].

На рис. 1 показаны наиболее характерные для NiO ДС в интервале температур 4,2—550 К. При $T \ll T_N$ (рис. 1, а) образец состоит из доменов с четкими границами,

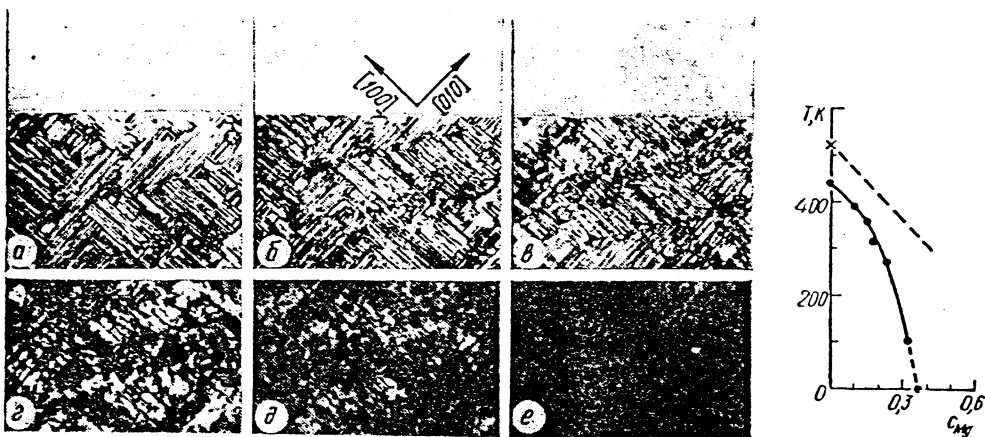


Рис. 1. ДС NiO при различных температурах: а — 290÷4,2 К, б — 420, в — 445, г — 467, д — 473, е — 530.

Рис. 2. Зависимости $T(c_{Mg})$ (● — эксперимент) и $T_N(c_{Mg})$ (штриховая, расчет по методу [9]); × — $T_N(NiO) = 523$ К.

параллельными осям типа [100]. При повышении температуры оптический контраст ДС плавно уменьшается. Регулярная сетка доменов исчезает при $T \geq 440$ К, хотя остатки этой структуры в виде островков, разбросанных по различным участкам образца, сохраняются до $T \approx 480$ К. Оптический контраст в отсутствие ДС сохраняется до $T \approx 515$ К; выше этой температуры кристалл становится оптически изотропным. Температурный гистерезис экспериментально не обнаружен.

Таким образом, регулярная ДС NiO образуется при $T < T_N$. Это можно объяснить, если учесть, что угол, характеризующий ромбоэдрическую деформацию решетки NiO , связанную с магнитным упорядочением и ответственную за величину двулучепреломления, сильно зависит от температуры: он изменяется от 0 при $T \sim T_N$ до 4,5° при $T \rightarrow 0$ [7], при комнатной температуре приблизительно равен 3,5°, а критическое значение угла, при котором появляется регулярная сетка доменов, при $T \approx 440$ К составляет примерно 1,5° [7].

Температура, при которой появляется регулярная ДС, сильно зависит от концентрации немагнитной примеси в $Ni_{1-x}Mg_xO$ (рис. 2). При $c_{Mg} > 0,37$ регулярная ДС не появляется даже при гелиевых температурах. Очевидно, что уже при таких концентрациях магнитоэлектрические деформации недостаточны для визуального наблюдения явления двулучепреломления. Зависимость T_N от концентрации немагнитной примеси может быть найдена в приближении модели двух магнитных подрешеток, которая справедлива в том случае, когда доминирующим обменным взаимодействием является «косвенный» обмен через ионы кислорода [8].

Таким образом, из проведенного исследования вытекает, что 1) появление регулярной ДС монокристалла NiO происходит при $T < T_N$ (это связано с температурной зависимостью величины ромбоэдрической деформации кубической решетки NiO , ответственной за величину двулучепреломления); 2) температура, при которой появляется регулярная ДС, более чувствительна к концентрации немагнитных примесей, чем T_N .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roth W. L. Neutron and optical studies of domains in NiO.—J. Appl. Phys., 1960, 31, N 11, p. 2000—2011.
2. Vernon M. W., Levell M. C. Anomalies in the electrical conductivity of nickel oxide above room temperature.—J. Phys. and Chem. Solids, 1966, 27, N 6/7, p. 1125—1131.
3. Springthorpe A. J. The rhombohedral distortion in NiO.—Phys. status solidi, 1967, 24, N 1, p. K3—K4.
4. Мандель В. С., Емельянова Л. Т., Лебедев М. М. Доменная структура эпитаксиальных монокристаллов антиферромагнитной закиси никеля.—ФТТ, 1970, 12, № 6, с. 1625—1628.
5. Миронова Н. А., Бандуркина Г. В. Эпитаксиальное выращивание монокристаллических твердых растворов $Ni_xMg_{1-x}O$.—Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ. техн. наук, 1975, № 4, с. 14—19.
6. Силаев В. И., Беляева А. И., Стельмахов Ю. Н. Малогабаритный проточный криостат для поляризационного микроскопа.—ПТЭ, 1977, № 4, с. 260—262.
7. Bartel L. C., Morozin B. Exchange striction in NiO.—Phys. Rev. B, 1971, 3, N 3, p. 1039—1043.
8. Смарт Дж. Эффективное поле в теории магнетизма. М.: Мир, 1968. 268 с.
9. Gilileo M. A. Superexchange interaction in ferrimagnetic garnets and spinels which contain randomly incomplete linkages.—J. Phys. and Chem. Solids, 1960, 13, N 1/2, p. 33—39.

Институт физики АН ЛатвССР, г. Рига;
Физико-технический институт низких температур АН УССР,
г. Харьков

Поступило в редакцию
30. VI 1980 г.