

НЕРЕЗОНАНСНОЕ СВЧ ПОГЛОЩЕНИЕ В НИКЕЛЕ ВБЛИЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ*В.П.Набережных, М.И.Циндлехт*

Экспериментально обнаружены и исследованы аномалии спектра нерезонансного поглощения (НП) в никеле вблизи T_c . Определен критический индекс для ширины линии НП.

В последнее время большое внимание уделяется исследованиям по ферромагнитному резонансу (ФМР) в области критических температур. Ряд интересных результатов по ФМР в никеле вблизи T_c получен в¹⁻³. Однако ФМР на СВЧ вблизи T_c существует в достаточно больших магнитных полях, таких, что образец находится в однодоменном состоянии. Это оказывает сильное влияние на динамику магнетика. Исследование динамических эффектов в слабых магнитных полях возможно при изучении НП, целиком обязанного своим существованием наличию доменной структуры в образце.

Возникновение НП на СВЧ можно объяснить, если воспользоваться простой моделью. Для этого введем понятие числа „эффективных” спинов. Спины перпендикулярные переменному магнитному полю h мы будем называть „эффективными”, а параллельные h „неэффективными”. Если постоянное магнитное поле $H \perp h$, то при намагничивании образца с ростом H будет расти число „эффективных” спинов, а с ним и поглощение СВЧ мощности, т.е. в нулевом магнитном поле будет минимум поглощения (линия НП инвертирована по отношению к линии ФМР). В другой геометрии $h \parallel H$ будет максимум поглощения в нулевом магнитном поле. НП впервые наблюдали в⁴. Подробное исследование НП в тонких магнитных пленках проведено в^{5,6}. Все измерения в⁴⁻⁶ проводились при комнатной температуре. Мы изучили НП в никеле вблизи T_c .

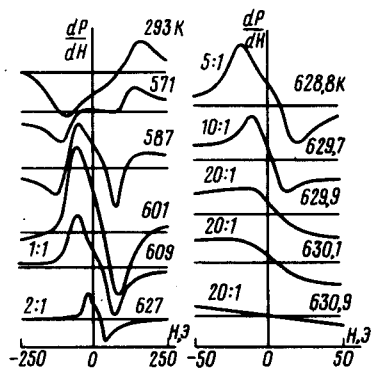


Рис. 1

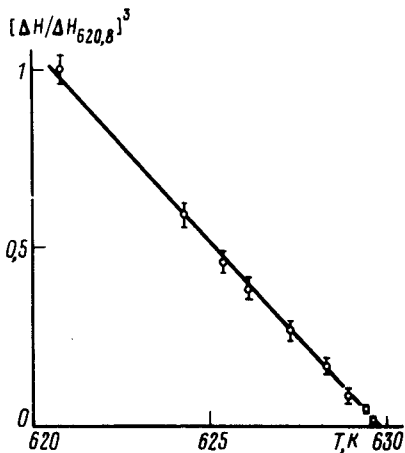


Рис. 2

Измерения были проведены на частоте 9,16 ГГц с помощью ЭПР спектрометра прямого усиления. Спектрометр был снабжен системой автоподстройки частоты по рабочему резонатору. Резонатор представлял собой отрезок прямоугольного волновода, в котором возбуждалась мода H_{102} . Внешнее поле H было параллельно поверхности образца. Образец крепился на поршне настройки резонатора без применения клея во избежание деформации. Для предохранения образца от окисления и уменьшения градиента температур нагрев проводился в атмосфере чистого гелия. Температура измерялась термопарой Pt — Pt 10% Rh отградуированной по точкам затвердевания чистых металлов In, Cd и Zn. Измерительная термопара вводилась через поршень настройки резонатора так, что она касалась нижней поверхности образца. Стабильность температуры была $\pm 0,01^\circ$. Абсолютная погрешность измерения температуры была $\pm 0,5^\circ$. Монокристаллические образцы никеля притирались с помощью алмазных паст, а затем были отполированы электролитически. Отношение сопротивлений для образцов $R(300\text{ K})/R(4,2\text{ K}) \cong 300$. Одновременно с записью НП мы записывали линию ФМг. Наши результаты по ФМР совпадают с ³.

На рис. 1 показаны экспериментальные записи производной поглощения dP/dH при перемещении образца диаметром $D = 8$ мм и толщиной $d = 0,2$ мм с нормалью к поверхности $n \parallel \langle 110 \rangle$ в геометрии $h \perp H \parallel \langle \bar{1}10 \rangle$ для разных температур. Горизонтальные линии — нули производной. Линии НП имеют гистерезис по магнитному полю, но на рисунке он не показан. Из рисунка видно, что приведенная выше модель перестает работать при $T \cong 570\text{ K}$. Линия НП сильно искажается при $T = 568\text{ K}$, а при $T = 595\text{ K}$, полностью инвертируется. При $T = 600\text{ K}$ интенсивность линии достигает своего максимума (оставаясь меньшей, чем при комнатной температуре). Дальнейший рост температуры приводит к уменьшению как интенсивности, так и ширины линии. При $T = T_k \cong 629,8\text{ K}$ экстремумы линии становятся плохо разрешимыми, и при увеличении температуры на $0,1^\circ$ практически исчезают. При $T = 633\text{ K}$ линия НП становится неразличимой. Измеренная нами температура $T_k = 629,8 \pm 0,5\text{ K}$ хорошо совпадает с известной в литературе T_c никеля $\cong 630\text{ K}$. На рис. 2 представлена зависимость относительной ширины линии ΔH НП. Как видно из рисунка, для ΔH хорошо выполняется закон „одной третьей“. Для образца с $D = 5$ мм и $d = 0,6$ мм ΔH значительно больше, чем для первого образца. Т.е. диполь-дипольное взаимодействие оказывает сильное влияние на величину ΔH . Но закон „одной третьей“ выполняется и для более толстого образца. Таким образом видим, что $\Delta H \sim (T_c - T)^\beta$. По нашим измерениям $\beta = 0,35 \pm 0,02$. Величина β хорошо совпадает с критическим индексом

сом для намагниченности насыщения M_0 ^{7, 8}. Отсюда можно сделать вывод, что $\Delta H \sim M_0$. Это следовало бы ожидать, так как вполне естественно предположить, что ΔH НП определяется полем магнитной анизотропии и размагничивающим полем. Однако в геометрии $h \parallel H$ поведение НП существенно, отлично от описанного выше. Линия НП в этом случае с ростом температуры тоже инвертируется, но эта инверсия начинается в области температур на 50° ниже, чем в геометрии $h \perp H$. После инверсии линии экстремумы dP/dH остаются видны вплоть до ее исчезновения. При $T \cong T_c$ линия становится неразличимой. Критический индекс для ΔH НП в геометрии $h \parallel H$ другой, а именно $\beta = 0,44$.

Инверсию линии НП мы наблюдали в аморфном сплаве⁹ и в диэлектрике феррита-граната иттрия (неопубликовано). Это позволяет сделать вывод о том, что это явление присуще всем ферромагнетикам. Исследование НП, по-видимому, может определить область применимости уравнения Ландау – Лифшица (модель приведенная выше основана на этом уравнении). Но в настоящее время не существует теории описывающей эти эффекты. (уравнении). Но в настоящее время не существует теории описывающей эти эффекты.

Авторы благодарят В.Л.Соболева и Б.И.Худика за полезные обсуждения, а Н.Н.Пафомува за техническую помощь.

Литература

1. *Rodbell D.S.* Phys. Rev. Lett., 1964, 13, 471.
2. *Zhagat S.M., Lubitz P.* Phys. Rev. B, 1974, 10, 179.
3. *Haraldson S., Petterson L.* J. Phys. Chem. Solids, 1981, 42, 681.
4. *Johnson M.H., Rado G.T.* Phys. Rev., 1949, 75, 841. (есть перевод в сборнике „Ферромагнитный резонанс”, 1952, М.: ИЛ) .
5. *Чистяков Н.С., Игнатченко В.А.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1966, 30, 59.
6. *Тушков Е.П., Чистяков Н.С., Хлыстов Г.С.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1972, 36, 1492.
7. *Kouvel J.S., Fisher M.E.* Phys. Rev., 1964, 136A, 1614.
8. *Miyatani K., Yoshikawa K.* J. Appl. Phys., 1970, 41, 1272.
9. *Набережных В.П., Циндлерт М.И.* XV Всесоюзная конф. по физ. магн. явл., Тезисы докладов, часть 2, Пермь, 1981.

Донецкий

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
2 июля 1982 г.