

## ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК

А.А. Шульгиной

Исследованы вейвлет-спектры низкочастотных флуктуации проводимости металлических плёнок Ag, Cu, Co, Bi, Al, Cr, Fe, Ni и SmCo<sub>6</sub>. Вейвлет-анализ выявил особенности спектра, индивидуальные для каждого металла.

Флуктуации проводимости металлов несут информацию, как о внешних воздействиях, так и о внутренних процессах. В работах [1-3] был проведён анализ скачков и всплесков проводимости металлических плёнок, из которого следует, что флуктуации обладают определённой периодичностью. Вероятно, это связано с внешними воздействиями проникающей природы. Данная работа посвящена дальнейшему исследованию флуктуации, обусловленных внутренними процессами в самих образцах.

Экспериментальная установка для исследования флуктуации проводимости металлических плёнок описана в работе [3]. Средняя частота измерений проводимости составляла 1,5 Гц. Измерения проводились в многоканальном режиме. Флуктуации одновременно регистрировались с трёх плёнок по два канала с каждой. Установка позволяла регистрировать минимальные относительной флуктуации проводимости плёнки  $\sim 10^{-7}$ . Исследовано 14 металлических плёнок из 8 металлов: Ag, Al, Co, Ni, Си по 1 образцу и Cr, Fe по 2 образца, Bi 3 образца, а также 1 образец сплава SmCo<sub>6</sub>. Начало экспериментов 27.11.2004 г., а окончание 29.08.2006 г. Общая длительность записей 303 дня (7271 ч).

На рис. 1(1) показан график изменения относительной удельной проводимости плёнки висмута в течение 12 часов 12.09.2005. В этот промежуток времени наблюдалось 2 скачка и 1 всплеск проводимости. Для дальнейшего анализа эти скачки и всплески были вычтены из массива данных. На следующем этапе была отделена медленная составляющая этих изменений (2). Для этой цели весь массив данных был разбит на группы по 256 измерений, что соответствует дли-

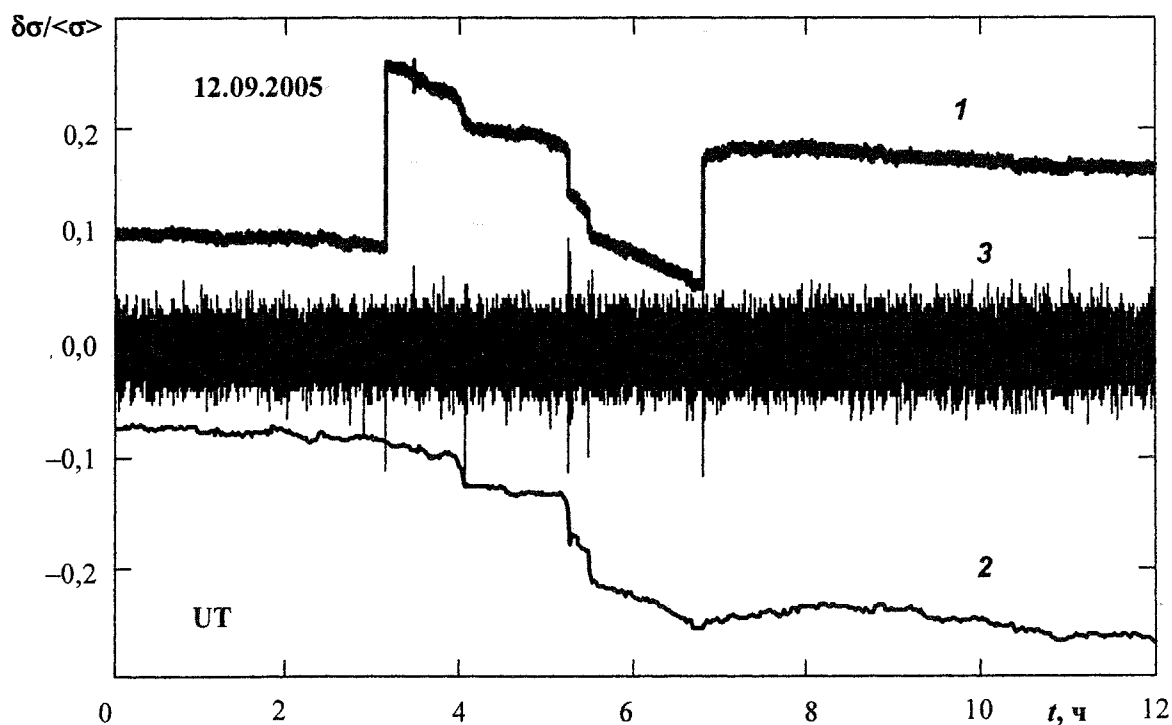


Рис. 1. Относительные флуктуации проводимости плёнки висмута: 1 - исходные данные в %; 2- медленные изменения после отделения скачков и всплесков в %; 3 - мелкомасштабные флуктуации в %

тельности  $T=170$  с. Каждая группа данных была интерполирована линейным сплайном, который затем вычитался из массива. После этих действий массив данных содержал только мелкомасштабные низкочастотные флуктуации проводимости (3). Максимальная частота флуктуации  $\nu_{\max} = 1,5$  Гц, а минимальная частота -  $\nu_{\min} = 1/T = 0,006$  Гц. На заключительном этапе был проведён вейвлет-анализ мелкомасштабных флуктуации проводимости плёнок. Для анализа использовались вейвлеты Морле (Morlet), поскольку они хорошо локализованы во времени и в частотном пространстве [4]. На рис. 2 показаны некоторые из них. У вейвлетов Морле есть средняя частота  $\nu$ . Параметры вейвлетов были выбраны таким образом, чтобы в частотном пространстве они имели небольшое перекрытие (рис. 3). В этом случае весь выбранный спектральный диапазон будет покрыт вейвлетами.

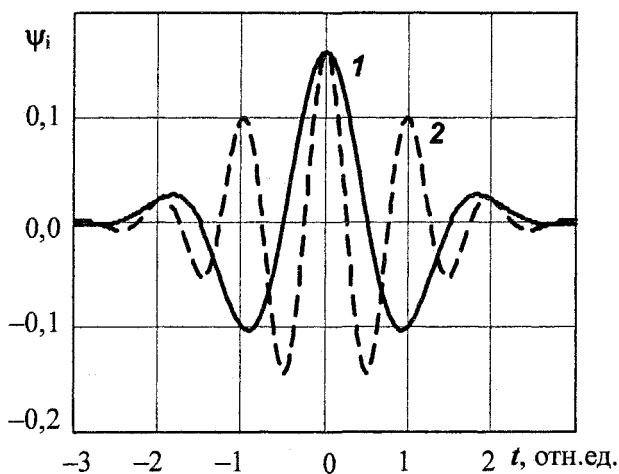


Рис. 2. Вейвлет-функции Морле:  
1 -  $\nu=0,5$ ; 2 -  $\nu=1,0$ .  $s=3$

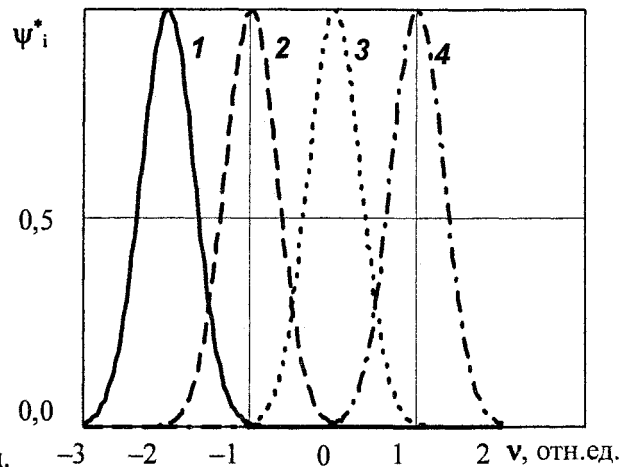


Рис. 3. Спектры вейвлет-функций Морле:  
1 -  $\nu=0,5$ ; 2 -  $\nu=1,0$ ; 3 -  $\nu=1,5$ ; 4 -  $\nu=2,0$ .  $s=3$

Исследован вейвлет-спектр для неферромагнитных (рис. 4) и ферромагнитных (рис. 5) металлов в диапазоне частот от 0,02 до 0,5 Гц. На рис. 4 и 5 по оси ординат отложено среднее отношение энергии соответствующей вейвлет-компоненты к полной энергии флуктуации в логарифмическом масштабе в зависимости от средней частоты вейвлета. Следует отметить, что у неферромагнитных металлов на частотах выше 0,1 Гц отмечаются максимумы, индивидуальные для каждого металла, а на более низких частотах наблюдается фликкер-шум. На частотах выше 0,1 Гц у серебра замечен максимум в спектре на частоте 0,15 Гц, а у алюминия - 0,29 Гц. Применение вейвлетов с этими частотами позволяет отделить шумы данных металлов от шумов других металлов. Вейвлет-спектры ферромагнетиков не имеют максимумов. У них наблюдается, либо белый шум (Co, Ni, БтСоб), либо фликкер-шум (Fe, Cr) в этом диапазоне частот. Интересно отметить две особенности вейвлет-спектров ферромагнетиков. Во-первых, шумы кобальта и сплава самарий-кобальт оказались очень близки. Это указывает на то, что близкие по составу металлы и сплавы имеют близкие параметры шумов проводимости. Во-вторых, заметна точка пересечения всех графиков на частоте 0,12 Гц, т.е. все ферромагнетики на этой частоте дают близкие параметры мелкомасштабных флуктуации.

Вейвлет-анализ мелкомасштабных флуктуации проводимости металлических плёнок выявил особенности, индивидуальные для каждого металла. Это обусловлено внутренними явлениями и позволяет создать алгоритм для определения состава плёнки по вейвлет-спектру её флуктуации.

Автор выражает глубокую благодарность Петрову Ю.В., Забейворота Н.С. и Прокопьеву К.В. за помощь в подготовке эксперимента.

*Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований и Администрации Челябинской области (проект р2004урал\_a №04-02-96045).*

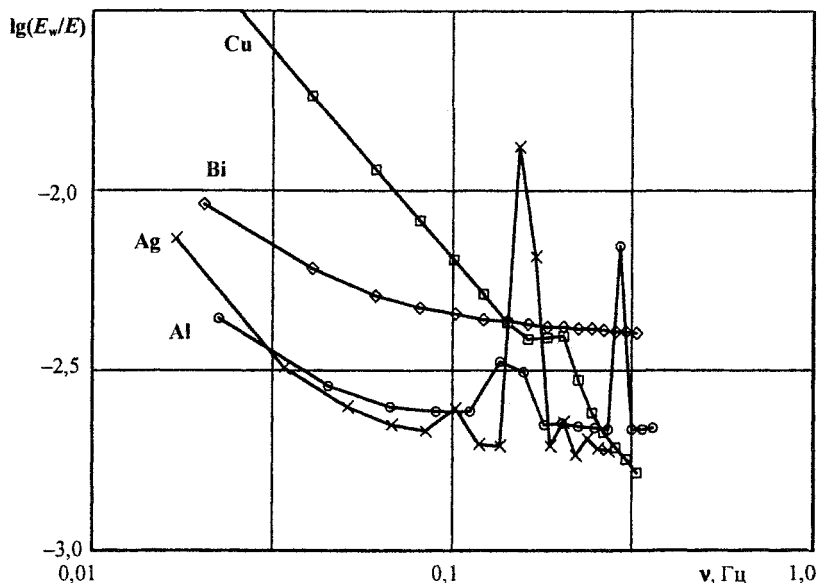


Рис. 4. Вейвлет-спектры неферромагнитных металлов

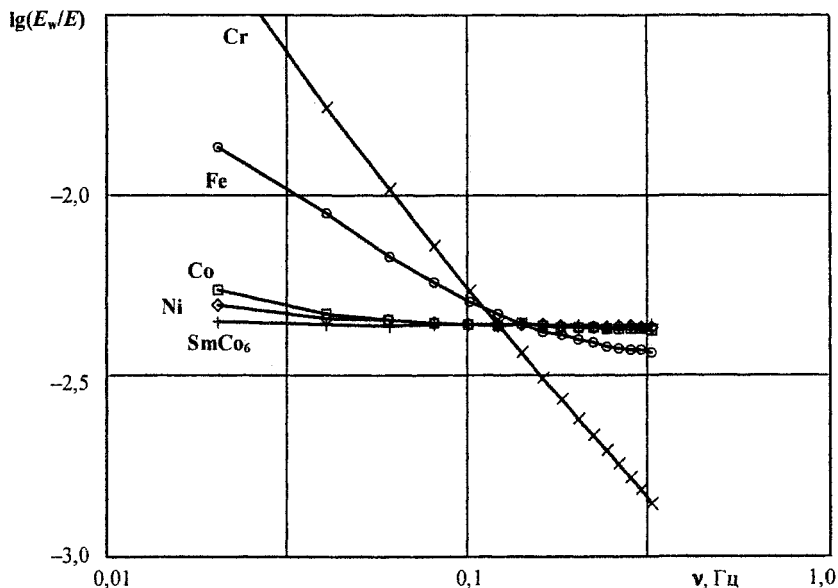


Рис. 5. Вейвлет-спектры ферромагнитных металлов

Литература

1. Шульгинов, А.А. Инфранизкочастотные флуктуации проводимости металлических плёнок Co и Ag / А.А. Шульгинов, Н.С. Забейворота // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2005. - Вып. 5. - № 2(42). - С. 133-136.
2. Шульгинов, А.А. Закономерности флуктуации электропроводности плёночных материалов нанотехники / А.А. Шульгинов, Н.С. Забейворота, С.Н. Забейворота // Нанотехника. - 2006. - № 2. - С. 43-5.
3. Шульгинов, А.А. Периодичность инфранизкочастотных флуктуации электропроводности металлических плёнок / А.А. Шульгинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». - 2006. - Вып. 7. - № 7. - 2006.- С. 184-186.
4. Дрёмин, И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дрёмин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // УФЫ. - 2001. - Т. 171, № 5. - С. 465-501.

Поступила в редакцию 2 марта 2007 г.