

05;12

Тепловой фликкер-шум в диссипативных процессах предплавления кристаллических веществ

© Л.А. Битюцкая, Г.Д. Селезнев

Воронежский государственный университет

Поступило в Редакцию 12 января 1998 г.

Проведен анализ тепловых флуктуаций на экзотермиках предплавления веществ с различным типом химической связи (KCl, Ge, Sb, Cu). Введены статистические и спектральные параметры тепловых флуктуаций. Показано, что для исследуемых веществ в заданных условиях наблюдаемые тепловые флуктуации могут быть идентифицированы как двухуровневый тепловой фликкер-шум.

В последние годы известный уже более полувека фликкер-шум все более привлекает внимание исследователей [1–4]. Это связано с возрастающим интересом к проблемам необратимости, нелинейности и самоорганизации, фундаментальная роль фликкер-шума в которых становится все более очевидной. Зарегистрированный вначале как электрический шум в электронных и полупроводниковых устройствах (p – n -переходах, транзисторах, контактах металл–полупроводник) [3–4], фликкер-шум впоследствии был обнаружен в процессах самой различной природы: от флуктуаций мембранного потенциала живой клетки до музыки [1,2].

В работах [5–8] по специальной методике цифрового дифференциального термического анализа в динамическом режиме при скоростях нагревания более 1 K/min и с контролируемой полосой пропускания регистрируемых сигналов до 1 Hz обнаружены переходные диссипативные процессы, проявляющиеся в виде тепловых импульсов с резкими границами, на тренде которых наблюдались низкочастотные флуктуации изменения температуры ΔT . Эти флуктуации сохраняются и усиливаются при изотермических выдержках в области возбуждения. Природа и параметры наблюдаемых шумов не изучены.

Целью работы являлся спектральный анализ тепловых флуктуаций изотерм предплавления для кристаллических веществ с разным типом

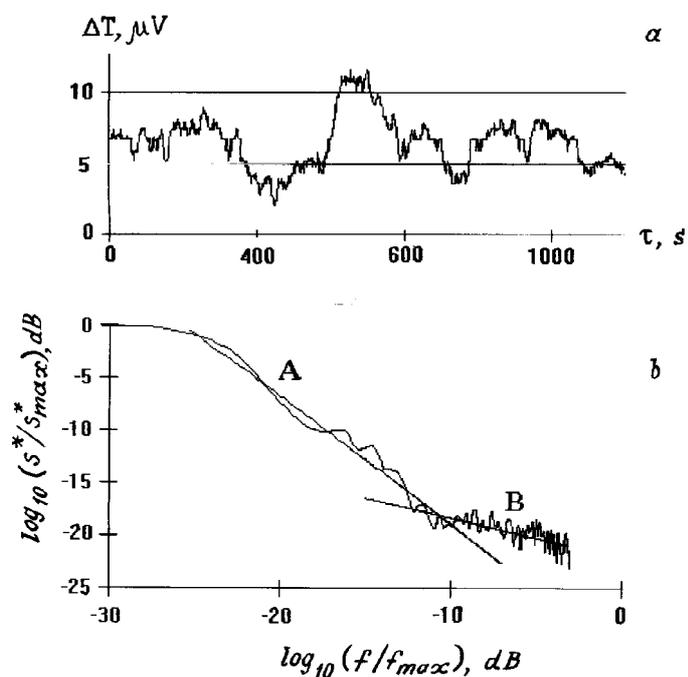
Вещество	Температура изотермической выдержки, °C	Дисперсия	Спектральные характеристики			
			α_A	α_B	α_B/α_A	f_{kr} , Hz
Cu	1047	3.56	1.25	0.38	0.30	0.085
Ge	949	2.94	1.02	0.5	0.50	0.056
Sb	584	0.78	1.4	0.42	0.30	0.042
KCl	762	2.47	1.1	0.52	0.47	0.115

химической связи: Cu, Sb, Ge и KCl. Для анализа использовался массив данных, полученный в работах [5–8], который представлял собой совокупность отсчетов дифференциальной термопары, регистрирующей разность температур между исследуемым образцом и эталоном, выраженную в μK . Характерное время изотермических выдержек 30 min, количество отсчетов 1000–1500. Дисперсия макроскопических тепловых флуктуаций для исследуемой группы веществ значительно превышала дисперсию аппаратного шума, равную 0.13 (см. таблицу). Это позволяет рассматривать наблюдаемую неустойчивость как проявление динамической природы переходных процессов [9].

Изотермические флуктуации исследовались методом цифрового спектрального анализа с обработкой данных по специальной программе, использующей периодограммный метод Уэлча [10].

Следует отметить, что при проведении спектрального анализа случайных процессов [4,10] результаты представляются в виде зависимости величины спектральной плотности мощности S от частоты. Величина спектральной плотности мощности является энергетической характеристикой случайного процесса, и амплитуды его спектральных составляющих при вычислении входят в выражение для S во второй степени. Однако рассматриваемые в данной работе тепловые флуктуации уже сами по себе являются процессом выделения тепловой энергии и в этом случае их спектральная плотность мощности, обозначим S^* , следует представлять выражением, в котором абсолютные значения амплитуд должны входить в первой степени.

Для всех веществ спектр представлялся в виде двух участков A и B , приближенно аппроксимирующихся прямыми линиями, абсолютные значения тангенсов углов наклона которых $\alpha_A > 1$, $\alpha_B < 1$ и критическая частота, при которой происходит смена наклона прямой, f_{kr} (см.



Флуктуации тепловыделения при изотермическом режиме предплавления меди: *a* — термограмма при выдержке 1047°C, *b* — зависимость относительной спектральной плотности мощности флуктуаций $\log_{10}(S^*/S_{max}^*)$ от относительной частоты $\log_{10}(f/f_{max})$, где f_{max} и S_{max}^* — максимальные значения.

рисунок и таблицу). Обращает внимание, что отношения параметров α_B/α_A для металлов Cu и Sb близки к 0.3, а для полупроводника Ge и ионного кристалла KCl — к 0.5. Наличие двух участков на спектре дает основание предполагать наличие двух уровней физического процесса порождения тепловых флуктуаций, имеющих единую природу.

Линейная в двойных логарифмических координатах зависимость величины спектральной плотности мощности от частоты характерна для флуктуационного процесса, известного как фликкер-шум [4]. Показанное в настоящих исследованиях наличие двух приблизительно прямолинейных участков A и B на спектрах всех исследуемых веществ

дает основание предполагать, что тепловые флуктуации в областях возбуждения при предплавлении кристаллических веществ могут быть идентифицированы как двухуровневый тепловой фликкер-шум. Наличие двух уровней фликкер-шума наблюдалось и в экспериментах по исследованию флуктуаций электрического тока [11], но, в отличие от тепловых флуктуаций, имело место отношение $\alpha_A < \alpha_B$.

Независимость от типа химической связи тех признаков, которые позволяют идентифицировать изотермические тепловые флуктуации в режиме предплавления как фликкер-шум, свидетельствует об универсальности изучаемого явления. В то же время введенные параметры этих флуктуаций: дисперсия, показатели спектральной плотности α_A , α_B и критическая частота f_{kr} , сохраняя общие черты, в заданных условиях имеют свои характерные величины и поэтому могут служить характерными признаками исследуемого вещества.

Список литературы

- [1] Тимашев С.Ф. // Российский химический журнал (Журнал всероссийского химического общества им. Д.И. Менделеева). 1997. Т. XLI. В. 3. С. 17.
- [2] Климонтович Ю.Л. // Статистическая теория открытых систем. М.: ТОО "Янус", 1995. С. 624.
- [3] Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. // УФН. 1983. Т. 141. В. 1. С. 151.
- [4] Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир, 1986. С. 398.
- [5–8] Битюцкая Л.А., Машина Е.С. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 17. С. 85–88; В. 18. С. 8–11; В. 20. С. 30–33; В. 24. С. 90–93.
- [9] Шноль С.Э., Пожарский Э.В. и др. // Российский химический журнал (Журнал всероссийского химического общества им. Д.И. Менделеева). 1997. Т. XLI. В. 3. С. 30–36.
- [10] Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. С. 584.
- [11] Voss R.F., Clarke J. // Phys. Rev. Let. Ser. B. 1976. V. 13. P. 556.