

# ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК Co и Ag

А.А. Шульгинов, Н.С. Забейворота

Проведены исследования флуктуаций проводимости пленок кобальта и серебра. Главное отличие инфранизкочастотных флуктуаций проводимости кобальта и серебра в длительности скачков. У кобальта эта величина составляет 1–10 с, а у серебра 0,5–30 мин. Корреляционный анализ флуктуаций проводимости и индексов геомагнитной активности показал отсутствие взаимосвязи этих явлений.

## Введение

Проводимость тонких металлических пленок подвержена флуктуациям разных временных масштабов, обусловленных внутренними и внешними причинами. На частотах выше  $\sim 10$  Гц при комнатной температуре доминируют тепловые шумы. В диапазоне ниже 10 Гц преобладает фликкер-шум, обусловленный, например, рассеянием электронов на дефектах (вакансионный механизм) [1, 2]. В настоящее время продолжают исследования низкочастотных шумов проводимости металлов, полупроводников и контактов между ними [3]. Однако эти исследования ограничиваются частотным диапазоном не ниже 1 Гц, где наблюдается стационарный фликкер-шум. Цель нашей работы состояла в том, чтобы исследовать закономерности флуктуаций проводимости металлических пленок в инфранизкочастотной области (ниже 0,01 Гц). Возможно, что именно эти флуктуации приводят к разрушению тонкопленочных резисторов в микросхемах.

Следует отметить работы группы исследователей под руководством профессора Р. Нельсона директора GCP (Global Consciousness Project) [4]. Они проводят регистрацию редких всплесков в 37 генераторах случайных чисел, размещенных в разных странах. В моменты наступления крупных мировых событий эти генераторы дают статистически достоверные всплески. Это указывает на то, что инфранизкочастотные нестационарные шумы в системе могут быть вызваны явлениями, происходящими в ноосфере Земли.

С.Э. Шноль с сотрудниками более 40 лет исследовали особенности биохимических реакций и скорости радиоактивного распада [5]. Оказалось, что в процессах различной природы происходят изменения с периодами 24 ч, 27 суток и около 365 суток. Это свидетельствует об общей геокосмической основе феномена.

А.Г. Пархомов исследовал ритмы и флуктуации в ходе различных процессов (низкочастотный шум проводимости полупроводниковых приборов, генерация колебаний устройствами с кварцевыми резонаторами, альфа- и бета-распад) [6, 7]. В этих процессах также обнаружили годовые, месячные и суточные ритмы. Длительность рядов составила до 4 лет. Аналогичные результаты получили В.П. Измайлов с сотрудниками по измерению постоянной гравитации в течение 12 лет [8].

Таким образом, инфранизкочастотные флуктуации в различных процессах могут нести информацию о глобальных внешних воздействиях на систему. Тонкие металлические пленки были выбраны для регистрации таких воздействий, поскольку имеются возможности создать пленку любого состава, толщины и качества. В рамках данной работы были поставлены два вопроса: во-первых, существуют ли особенности инфранизкочастотных флуктуаций у пленок разного состава и качества поверхности? Во-вторых, существует ли корреляция между флуктуациями проводимости и флуктуациями земного магнитного поля? Впервые успешную попытку применить металлические пленки как детекторы полей сделал астрофизик Н.А. Козырев [9]. Такой детектор был помещен в фокус телескопа-рефлектора при закрытой крышке телескопа. Когда «изображение» звезды попадало на пленку, которая была встроена в мост Уитстона, сопротивление ее немного варьировалось в зависимости от ориентации телескопа.

Для исследования флуктуаций проводимости была собрана установка, включающая в себя два компьютера, оснащенных платами сбора данных, контейнер с исследуемой пленкой, помещенный на дно шахты глубиной 2 м, и контейнер с аккумулятором. Глубина шахты достаточная, чтобы суточные температурные волны не достигали дна. Температура в шахте во время записи флуктуаций составляла  $15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Изменения температуры, а также изменения напряжения на аккумуляторе и на мосте Уитстона, в котором находилась пленка регистрировались круглосуточно первым компьютером. Температура в течение суток изменялась не более чем на  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для защиты от электромагнитных помех стенки шахты и контейнер были сделаны из металлов (алюминий, медь). Флуктуации проводимости пленки определялись по флуктуациям потенциалов двух платиновых электродов, поставленных на пленку. Потенциалы усиливались с помощью инструментальных усилителей с низким уровнем шумов (AD623). Перед началом экспериментов были измерены собственные шумы моста и усилительного тракта, который также находился в контейнере с пленкой. В диапазоне частот  $0,001\text{--}0,01\text{ Гц}$  эти шумы были в  $10\text{--}15$  раз меньше, чем в схеме с пленкой. Регистрация флуктуаций производилась вторым компьютером круглосуточно с частотой  $1\text{ кГц}$  по каждому каналу. После усреднения данные записывались с частотой  $2\text{ Гц}$ . Таким образом, установка регистрировала флуктуации проводимости металлических пленок и контактов. Отделить одни флуктуации от других не представляется возможным в условиях данного эксперимента. В качестве объектов исследования были выбраны ферромагнитная пленка кобальта толщиной  $0,22\text{ мкм}$  и диамагнитная пленка серебра толщиной  $0,19\text{ мкм}$ , нанесенные на подложки из поликора ионно-плазменным методом. Сопротивления пленок были примерно одинаковые около  $10\text{ Ом}$ . Напряжение моста устанавливалось около  $22\text{ мВ}$ . Плотность тока в пленке составляла около  $10\text{ А/см}^2$ , что на  $5$  порядков ниже порога, при достижении которого существенную роль начинают играть тепловые явления [1]. Платиновые электроды устанавливались на расстояниях от  $1$  до  $16\text{ мм}$  на эквипотенциальной линии, либо на линии тока. Минимальные регистрируемые флуктуации потенциалов электродов  $\sim 0,3\text{ мкВ}$ , что соответствует относительной флуктуации проводимости пленки  $\sim 3 \cdot 10^{-5}$ .

### Результаты

Зарегистрированы инфранизкочастотные флуктуации проводимости этих пленок: скачки (рис. 1) и всплески (рис. 2, 3, 4).

Определены основные характеристики этих флуктуаций:

1. Флуктуации носят неперIODический характер и не связаны со временем суток. Количество всплесков и скачков в сутки у кобальта –  $0\text{--}3$ , у серебра –  $2\text{--}12$ .

2. Главное отличие флуктуаций проводимости кобальта и серебра в длительности скачков. У кобальта эта величина составляет  $1\text{--}10\text{ с}$ , а у серебра  $0,5\text{--}30\text{ мин}$ . Средние относительные флуктуации проводимости составляли  $\sim 10^{-3}\text{--}10^{-2}$ .

3. Спектральный анализ мощности флуктуаций показал количественное, но не качественное различие спектра для кобальта и серебра (рис. 5). Средняя мощность фликкер-шума проводимости серебра примерно в  $100$  раз выше, чем у кобальта.

4. Совместный анализ флуктуаций проводимости пленок и индексов геомагнитной активности  $A_p$  показал, что геомагнитная активность и мощность флуктуаций проводимости в диапазоне частот  $0,001\text{--}0,01\text{ Гц}$  как кобальта, так и серебра имеют коэффициенты корреляции менее  $0,2$ , т.е. статистически достоверной корреляции между этими явлениями не отмечено. Эксперименты с пленкой кобальта проводились с  $27$  ноября по  $14$  декабря  $2004$  года. В этот период произошла магнитная буря  $12$  декабря ( $6$  баллов). Наибольшее количество всплесков отмечено  $4$  декабря с  $2.30$  до  $3.00\text{ UT}$ . Эксперименты с пленкой серебра проводились с  $16$  по  $28$  декабря  $2004$  года. Усиление геомагнитной активности в этот период до  $5$  баллов наблюдалось  $16$  декабря. Наибольшее количество всплесков отмечено  $19$  декабря. Данные о геомагнитной активности получены из ИЗМИРАНа [10].

Принципиально новым в полученных результатах является то, что выявлены особенности нестационарных редких флуктуаций проводимости металлических пленок кобальта и серебра.

Выяснилось, что геомагнитные явления не являются причиной этих флуктуаций ни у ферромагнитной пленки кобальта, ни у диамагнитной пленки серебра.

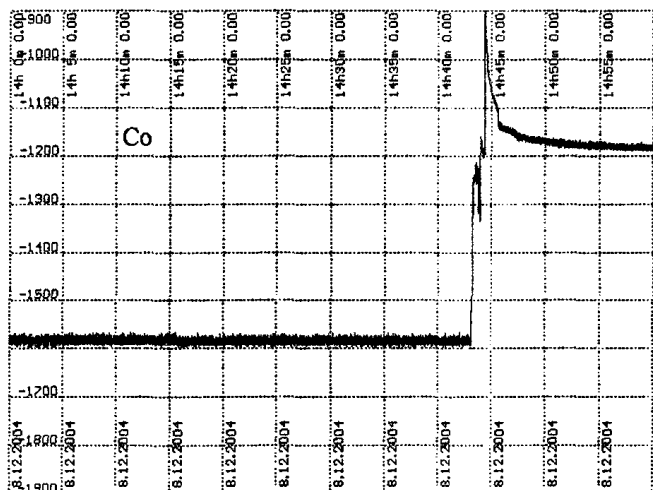


Рис. 1. Скачок проводимости кобальта

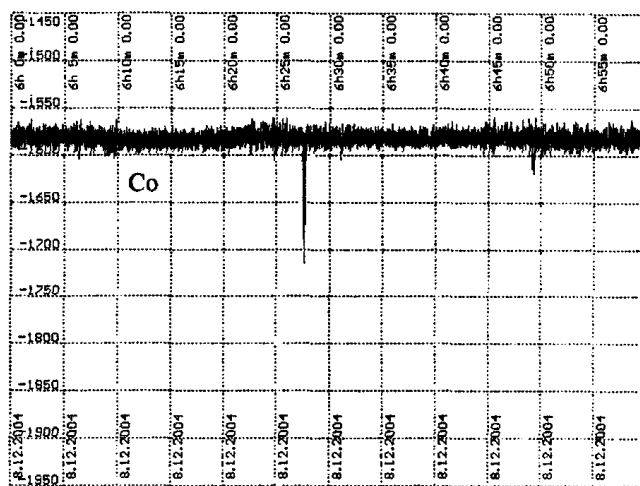


Рис. 2. Всплеск проводимости кобальта

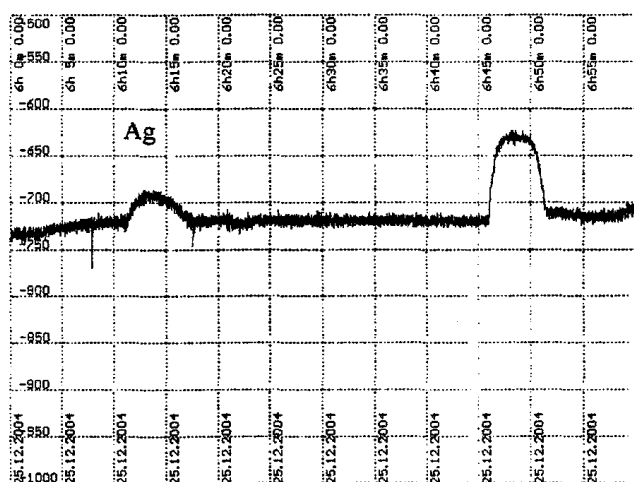


Рис. 3. Всплеск проводимости серебра (1)

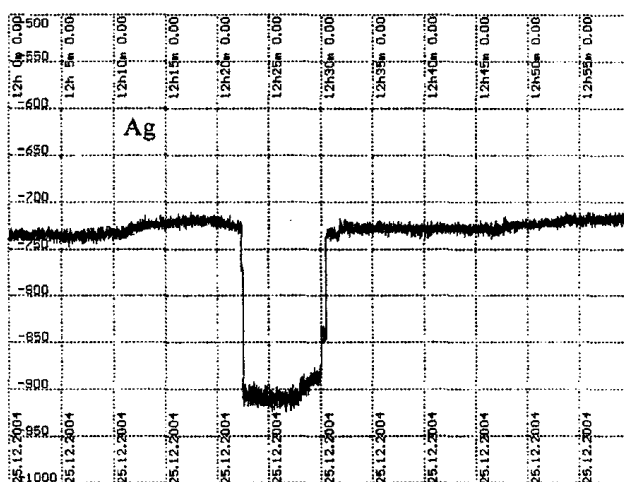


Рис. 4. Всплеск проводимости серебра (2)

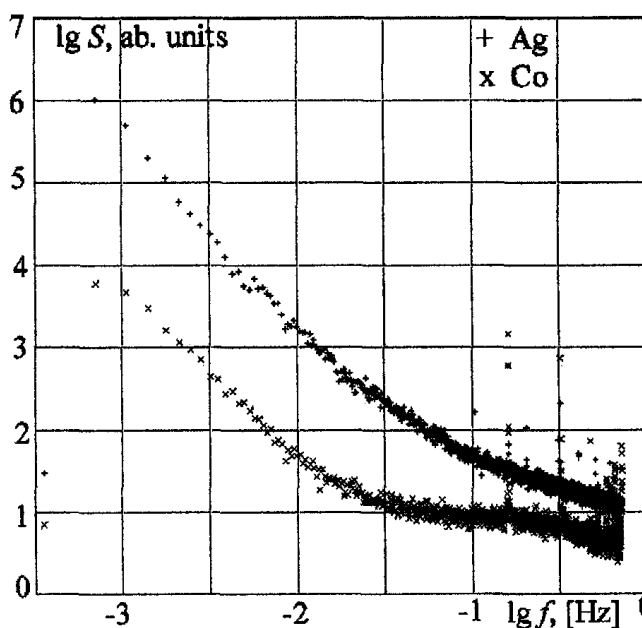


Рис. 5. Спектральная мощность флуктуаций проводимости кобальта и серебра

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.В. Петрову, О.В. Карасёву, В.Г. Русину и С.Ю. Гуревичу за помощь в подготовке эксперимента.

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

### Литература

1. Жигальский Г.П. Шум вида  $1/f$  и нелинейные эффекты в тонких металлических пленках // УФН. – 1997. – Т. 167. – № 6. – С. 623–648.
2. Жигальский Г.П. Неравновесный  $1/f^\alpha$ -шум в проводящих пленках и контактах // УФН. – 2003. – Т. 173. – № 5. – С. 465–490.
3. Park W.K., et. al. Noise Properties of Magnetic and nonmagnetic tunnel junctions // J.Appl Phys. – 2003. – V. 93. – P. 7020–7022.
4. <http://noosphere.princeton.edu/terror.html>
5. Шноль С.Э., Коломбет В.А., Пожарский Э.В., Зенченко Т.А., Зверева И.М., Конрадов А.А. О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // УФН. – 1998. – Т. 168, № 10. – С. 1129–1140.
6. Пархомов А.Г. Вариации интенсивности низкочастотных флуктуаций в полупроводниках // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М.: Научный мир, 1998. – Т. 2. – С. 310–312.
7. Пархомов А.Г. Исследование неслучайных вариаций результатов измерения радиоактивности // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М.: Янус-К, 2002. – Т. 3. – С. 607–612.
8. Измайлов В.П., Карагиоз О.В. Пархомов А.Г. Вариации результатов измерений гравитационной постоянной // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М.: Научный мир, 1998. – Т. 2. – С. 163–168.
9. Козырев Н.А. Избранные труды. – Л.: Изд. Лен. университета, 1991. – 448 с.
10. <http://www.izmiran.rssi.ru>

*Поступила в редакцию 28 февраля 2005 г.*