

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Базовая кафедра
компьютерной физики и
метаматериалов физического
факультета СГУ в СФ ИРЭ
имени В.А. Котельникова
РАН

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ
МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ НЕОДНОРОДНОГО ЭМИТТЕРА**

студента 4 курса 431 группы

направления 03.03.02 «Физика» физического факультета

Инкина Максима Глебовича

Научный руководитель: Шаповалов А.С.

Зав. Кафедрой: Аникин В.М.

Саратов 2016

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

1. ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ И МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

1.1. Основные естественные источники шумов

1.2. Дополнительные источники шумов, связанных с неоднородностью физических систем и их состояний. Аномальный дробовой шум

1.3. Методы подавления шумов

2. ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ДРОБОВЫХ ШУМОВ НЕОДНОРОДНЫХ ЭМИТТЕРОВ ЭЛЕКТРОНОВ

2.1. Возможные законы распределения параметра интенсивности эмиссии

2.2. Аномальный дробовой шум при равномерном законе распределения параметра интенсивности эмиссии

2.3. Трехуровневая симметричная модель неоднородного эмиттера

2.4. Многоуровневая модель неоднородного эмиттера

2.5. Влияние дискретизации спектра возможных значений параметра интенсивности на уровень дробового шума и ширину спектра флуктуаций тока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Список использованных источников

Приложение А

Приложение Б

Приложение В

Приложение Г

Приложение Д

ВВЕДЕНИЕ

Одной из приоритетных задач теории и практики шумов электронных приборов является исследование источников шума в таких устройствах [1-11]. Основными естественными источниками шумов вакуумных и твердотельных электронных приборов является тепловой шум, дробовой шум и избыточные шумы [2,4-6]. Несмотря на многолетние исследования этих источников помех, в их теории остался целый ряд «белых пятен». Так, применительно к дробовому шуму, остался не исследован в полной мере эффект возникновения аномальных дробовых флуктуаций [2,5,12-15]. Аномальным дробовым шумом принято считать ту компоненту дробовых флуктуаций, которая вызывается неоднородностью эмиссионных состояний катода и которая приводит к существенному повышению полного уровня дробовых флуктуаций. Эта компонента является одной из разновидностей избыточных шумов, наряду с фликер-шумом и генерационно-рекомбинационным шумом [7]. Изучение избыточных шумов представляет большой теоретический и практический интерес по многим причинам. Они отрицательно влияют на чувствительность измерительной аппаратуры, систем связи, навигации, радиолокации и других приборов. В то же время исследование таких шумов позволяет прогнозировать надежность, долговечность, отказы подобных систем, осуществлять шумовую спектроскопию энергетических уровней полупроводников [16-18].

Перед данной выпускной квалификационной работой была поставлена задача: выбрать и обосновать соответствующие модели неоднородных эмиттеров электронов и на их основе выяснить влияние дискретизации спектра возможных значений параметра интенсивности эмиссии на уровень аномального дробового шума и его зависимость от частоты (ширину спектра).

МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим модель, имеющую N эмиссионных состояний. Рассуждая аналогичным образом, как и в параграфе 2.3, введем в рассмотрение интервал возможных значений параметра λ , параметр q , который определяется шириной интервала $\Delta\lambda$ и средним значением λ_0 . Важно отметить, что величина λ_0 в данной модели может не совпадать ни с одной реализацией λ_i для четного N , но совпадает при нечетном N . Для описания модели воспользуемся гиперэкспоненциальным законом распределения интервала времени τ , который запишется следующим образом:

$$\varphi(\tau) = \sum_{i=1}^N p_i \lambda_i e^{-\lambda_i \tau}, \quad (2.4.1)$$

$$\text{где} \quad \lambda_i = \lambda_0 \left(1 + q \cdot 2 \frac{i-1}{N-1} - 1 \right) \quad (2.4.2)$$

В рассматриваемой модели прибегнем к упрощению – положим вероятность реализации каждого эмиссионного состояния постоянной величиной, равной $\frac{1}{N}$. Используя (2.4.1) получим выражение среднего значения $e^{-j\omega\tau}$:

$$e^{-j\omega\tau} = \int_0^{\infty} e^{-j\omega\tau} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i e^{-\lambda_i \tau} d\tau. \quad (2.4.3)$$

Получив (2.4.3) найдем выражение для $\gamma(\Omega)$, где $\Omega = \omega / \lambda_0$. Оно запишется следующим образом:

$$\gamma(\Omega) = 1 + 2 \frac{A C - B^2}{\Omega^2 C^2 + B^2},$$

где

$$A(\Omega) = \sum_{i=1}^N \frac{(\lambda_i - \lambda_0)^2}{(\lambda_i - \lambda_0)^2 + \Omega^2},$$

$$B \Omega = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \lambda_0}{(\lambda_i \lambda_0)^2 + \Omega^2},$$

$$C \Omega = \sum_{i=1}^N \frac{1}{(\lambda_i \lambda_0)^2 + \Omega^2}.$$

Особенностью этой модели является тот факт, что ее можно использовать для расчета коэффициента шума при любом, сколь угодно большом, но конечном числе эмиссионных состояний. Из этого следует, что для снижения погрешности в строгих расчетах можно увеличить N и получить результат, отвечающий требованиям точности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований предложены и обоснованы серии статистических моделей эмиттеров, неоднородных с точки зрения эмиссионных состояний: трехуровневая модель, многоуровневая модель и непрерывная модель равномерной плотности вероятности эмиссионных состояний. Указанные модели могут найти практическое применение при оценке уровня аномальных дробовых шумов и ширины их спектра.

Сопоставление моделей показало, что многоуровневая модель эмиссионных состояний позволяет адекватно описать, как дискретные, так и непрерывные модели эмиссионных состояний, так как допускает получение численных результатов при практически любом числе эмиссионных состояний, в том числе при N фактически соответствующих непрерывному закону распределения λ .

Проведенные исследования показали, что увеличение числа возможных реализаций параметра интенсивности, в начале, приводит к увеличению уровня шума, а затем к его снижению. При дальнейшем увеличении числа эмиссионных состояний коэффициент повышения шума практически перестает зависеть от N и стремится к уровню, который соответствует непрерывному закону распределения λ , определяемому выражениями (2.2.5). Что касается ширины спектра флуктуаций, то при любом заданном значении q и увеличении N она уменьшается. При этом основное падение ширины спектра происходит в области значений N от 2 до 50 и при достаточно больших q может достигать значений 10-20.

Предложенная модель неоднородного эмиттера позволяет сделать определенное заключение о природе и причинах аномального дробового шума практически любого неоднородного эмиттера. Это обстоятельство определяет фундаментальный характер этой модели. Однако следует отметить, что эта модель представляет интерес и в чисто прикладном плане. Сопоставление экспериментальных значений $\gamma(\Omega)$ с теоретическими кривыми позволило бы определить число эмиссионных состояний

реализуемых в реальном эмиттере, то есть осуществить шумовую локацию эмиссионных состояний.

Важно отметить, что рассмотренная многоуровневая модель неоднородного эмиттера допускает ее дальнейшее совершенствование. В частности, распределение вероятности отдельных эмиссионных состояний можно сделать неравномерным и, таким образом моделировать, например, нормальный закон распределения плотности вероятности. Для этого достаточно вероятности p_i отдельных эмиссионных состояний взять равными тем значениям, которые следуют из распределения Гаусса.

Многоуровневую модель, описанную в работе можно использовать для описания аномального дробового шума, генерируемого на любом потенциальном барьере, в том числе на барьерах, имеющих место в полупроводниковых устройствах, содержащих p-n, n-p и более сложные потенциальные барьеры.

Список использованных источников

1. Ахманов С.А. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах/ С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. М.: Физматлит, 2010.
2. Шаповалов А.С. Вероятностные расчёты в физике/ А.С. Шаповалов. С.: Саратов. 2015.
3. Якубов В.П. Статистическая радиофизика/ В.П. Якубов. Изд-во ТГУ. 2003.
4. Букингем, М. Шумы в электронных приборах и системах/ М. Букингем. М.: Мир, 1986. 398с.
5. Шаповалов, А.С. Эмиссионные и шумовые свойства неоднородных эмиттеров/ А.С. Шаповалов, А.Ф. Голубенцев, Ю.И. Денисов. С.: Издательство Саратовского университета, 1983. 90с.
6. Малахов, А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах/ А.Н. Малахов. М.: Наука, 1968. 660с.
7. Лукьянчикова Н.Б. Флуктуационные явления в полупроводниках и полупроводниковых приборах/ Н.Б. Лукьянчикова. М.: Радио и связь. 1990.
8. Жалуд В. Шумы в полупроводниковых устройствах/ В. Жалуд , В.Кулешов. М.: Сов. Радио, 1977.
9. Голант М.Б. Генераторы СВЧ малой мощности/ М.Б. Голант, К.Л. Бобровский. М.: «Советское радио», 1977.
10. Робинсон, Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях/ Ф.Н.Х. Робинсон. М.: Атомиздат, 1980. 225с.
11. Шумы в электронных приборах. Под ред. Л.Д. Смуллина и Г.А.Хауса. М.-Л.: Энергия. 1964.
12. Набоков Ю.И. Об аномальном дробовом эффекте в приборах с оксидным катодом/ Ю.И. Набоков, В.Е. Авдеев. Известия АН СССР Сер. Физическая. Т.33,№3, 1960. с.452-457.

13. Попов А.И. О возможном механизме аномально высоких дробовых шумов в ПУЛ/ А.И. Попов, Д.Е. Колпаков. Электронная техника. Сер. 5. Приемно-усилительные лампы, В.1, 1971. с.35-42.
14. Шаповалов А.С. Статистический механизм возникновения аномальных дробовых шумов в потоках носителей заряда/ А.С. Шаповалов, Ю.И. Денисов. Изв. Вузов. Радиолекtronика. Т.28, №5, 1985. с.88.
15. Dalke W., Dlonhy F. A Cathode Test Utilizing Noise Measurements/ Proc. IRE. – 1958. – vol. 46, ¹ 9. – P.1639-1645.
16. Придорогин В.М. Шумовые свойства транзисторов на низких частотах/ В.М. Придорогин. М.: Изд-во «Энергия», 1976.
17. Пряников В.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов/ В.С. Пряников М.: Энергия, 1972.
18. Нарышкин А.К. Теория низкочастотных шумов/ А.К. Нарышкин , А.С. Врачев. М.: Энергия, 1972.
19. Отт, Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах/ Г. Отт. М.: Мир, 1979. 317с.
20. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций/ А.А. Свешников. М.: Наука, 1968.
21. Давенпорт В.Б. Введение в теорию случайных сигналов и шумов/ В.Б. Давенпорт, В.Л. Рут. М.: ИЛ, 1960. 467с.
22. Кокс, Л. Теория восстановления/ Л. Кокс, У. Смит. М.: Сов. Радио, 1967. 299с.
23. Харкевич А.А. Спектры и анализ/ А.А. Харкевич. М.: Физматгиз, 1962. 236с.
24. Херринг К. Термоэлектронная эмиссия/ К. Херринг, М. Никольс. М.: ИЛ, 1950. 260с.
25. Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника/ Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. М.: Наука, 1966.

26. Герман Г. Оксидный катод/ Г. Герман, С. Вагнер. М.,Л.: Гостехиздат, 1949.
27. Мойжес Б.Я. Физические процессы в оксидном катоде/ Б.Я. Мойжес. М.: Наука, 1968.
28. Инкин М.Г., Мироненко К.В., Минкин Л.М., Шаповалов А.С. Частотные характеристики аномального дробового шума для трехуровневой симметричной модели неоднородного эмиттера/Вопросы прикладной физики выпуск №22 С.: Изд. Саратовского университета, 2015. с.48-51
29. Мироненко К.В., Инкин М.Г., Минкин Л.М., Шаповалов А.С. Энергетические характеристики аномального дробового шума для трехуровневой симметричной модели неоднородного эмиттера/Вопросы прикладной физики выпуск №22 С.: Изд. Саратовского университета, 2015. с.52-53