



SELF-OSCILLATIONS OF CURRENT IN SILICON: PHYSICAL PRINCIPLES, MECHANISMS AND APPLICATION

Nigora Abdullaeva¹

Umida Mamadalieva²

Tashkent Medical Academy

KEYWORDS

Self-oscillations, Silicon, Avalanche breakdown, Nonlinear effects, Thermal feedback, High-frequency signal generators, Semiconductor devices, Radio engineering devices

ABSTRACT

The article discusses self-oscillatory processes in silicon semiconductor devices, such as diodes and transistors, based on nonlinear effects of interaction of electric current and voltage. Particular attention is paid to the physical mechanisms of self-oscillations, including avalanche breakdown, thermal and electrical feedback, as well as their impact on the operation of silicon devices. Examples of the application of self-oscillatory modes in high-frequency signal generators and radio engineering devices are given. Methods for eliminating unwanted oscillations to ensure stable operation of circuits are also discussed.

2181-2675/© 2024 in XALQARO TADQIQOT LLC.

DOI: **10.5281/zenodo.13852530**

This is an open access article under the Attribution 4.0 International(CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

¹ Tashkent Medical Academy, Uzbekistan

² Tashkent Medical Academy, Uzbekistan

АВТОКОЛЕБАНИЯ ТОКА В КРЕМНИИ: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МЕХАНИЗМЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

KALIT SO'ZLAR/ КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Автоколебания, Кремний, Лавинный пробой, Нелинейные эффекты, Термическая обратная связь, Генераторы высокочастотных сигналов, Полупроводниковые приборы, Радиотехнические устройства

ANNOTATSIYA/ АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются автоколебательные процессы в кремниевых полупроводниковых устройствах, такие как диоды и транзисторы, основанные на нелинейных эффектах взаимодействия электрического тока и напряжения. Особое внимание уделяется физическим механизмам возникновения автоколебаний, включая лавинный пробой, термическую и электрическую обратную связь, а также их влияние на работу кремниевых приборов. Приводятся примеры применения автоколебательных режимов в генераторах высокочастотных сигналов и радиотехнических устройствах. Также обсуждаются методы устранения нежелательных колебаний для обеспечения стабильной работы схем.

Введение

Автоколебания тока — это явление, при котором в системе возникают и поддерживаются колебания электрического тока за счёт внутренних свойств устройства. Оно возникает в полупроводниковых материалах, включая кремний, благодаря нелинейным процессам взаимодействия тока и напряжения, а также тепловым и электрическим эффектам. В данной статье мы рассмотрим механизмы возникновения автоколебаний тока в кремнии, их физические основы, схемные аспекты, а также примеры и области применения. Автоколебания представляют собой самоподдерживающиеся колебания, которые происходят в системе без внешнего периодического воздействия. В отличие от вынужденных колебаний, автоколебания не требуют внешнего источника переменной энергии, а поддерживаются за счёт внутренней энергии системы. Для возникновения автоколебаний необходима положительная обратная связь, которая усиливает отклонения от равновесного состояния и поддерживает колебательный процесс.

Физические основы автоколебаний в кремнии

Кремний, как один из наиболее распространённых полупроводниковых материалов, демонстрирует сложные нелинейные зависимости между током и напряжением, которые могут приводить к автоколебаниям. Основные физические механизмы, ответственные за автоколебания в кремниевых устройствах, включают:

1. **Нелинейная вольт-амперная характеристика (ВАХ):** В полупроводниковых устройствах (например, диодах или транзисторах) ток не всегда линейно зависит от напряжения. В некоторых случаях на ВАХ могут быть участки с отрицательной дифференциальной проводимостью, когда увеличение напряжения приводит к уменьшению тока. Эти нелинейные эффекты могут стать причиной возникновения

автоколебаний.

2. Лавинный пробой: При достаточно высоком напряжении в полупроводниковом приборе может происходить лавинное умножение носителей заряда (электронов и дырок). Этот процесс вызывает быстрый рост тока, который может затем снизиться из-за нагрева устройства, приводя к циклическому изменению тока и напряжения.

3. Термическая обратная связь: Электрический ток, проходящий через полупроводник, вызывает его нагрев. Проводимость кремния зависит от температуры: при её повышении сопротивление уменьшается, что ведёт к увеличению тока, а это, в свою очередь, усиливает нагрев. Такой процесс может привести к самоподдерживающимся колебаниям, где ток и температура изменяются циклически.

4. Электрическая обратная связь: В схемах с индуктивностью и ёмкостью возникает фазовый сдвиг между током и напряжением, который может вызывать автоколебания в электрических цепях. В кремниевых устройствах эта обратная связь может быть связана с динамическим перераспределением носителей заряда в полупроводнике.

Механизмы автоколебаний в кремниевых устройствах

Автоколебания могут возникать в различных устройствах на основе кремния, таких как диоды, транзисторы и резонаторы. Рассмотрим несколько примеров.

1. Автоколебания в лавинных диодах: Лавинные диоды, работающие на эффекте лавинного пробоя, демонстрируют автоколебательные процессы при достижении порогового напряжения пробоя. Когда напряжение на диоде превышает критическое значение, носители заряда начинают умножаться, что вызывает резкий скачок тока. Это, в свою очередь, приводит к сильному нагреву диода, снижению сопротивления и последующему снижению тока. Циклические изменения тока и напряжения создают автоколебания, которые могут быть использованы для генерации высокочастотных сигналов.

2. Автоколебания в транзисторах: В кремниевых полевых и биполярных транзисторах автоколебания могут возникать в результате нелинейного поведения в насыщенном режиме или лавинного пробоя. В схемах с индуктивными и ёмкостными элементами такие транзисторы могут работать как генераторы высокочастотных сигналов.

3. Эффект Ганна: Хотя эффект Ганна чаще встречается в арсениде галлия (GaAs), в некоторых кремниевых устройствах могут возникать аналогичные автоколебательные процессы. Этот эффект основан на формировании областей с высоким электрическим полем, которые перемещаются через полупроводник и вызывают колебания тока.

Применение автоколебаний тока в кремниевых устройствах

Автоколебания тока в кремнии находят широкое применение в

радиотехнических и микроволновых устройствах, генераторах сигналов и других системах, требующих высокочастотных колебаний.

1. **Высокочастотные генераторы:** Кремниевые диоды и транзисторы, работающие в автоколебательных режимах, широко используются в генераторах высокочастотных сигналов. Эти устройства применяются в радиопередатчиках, системах связи и радарных установках.

2. **Осцилляторы для обработки сигналов:** В кремниевых осцилляторах автоколебания используются для генерации стабильных синусоидальных или импульсных сигналов, которые необходимы для тактирования и синхронизации в цифровых и аналоговых системах.

3. **Радиочастотные устройства:** Автоколебательные процессы играют ключевую роль в работе радиочастотных устройств, где требуется генерировать стабильные частоты для передачи и приёма информации. Кремниевые полупроводниковые генераторы широко используются в радиопередатчиках и радиоприёмниках для модуляции и демодуляции сигналов.

Проблемы и устранение автоколебаний

В ряде случаев автоколебания могут оказывать негативное влияние на работу устройства, особенно в цифровых схемах, где стабильность напряжения и тока критична. Проблемы могут возникать из-за:

- Термического выбега: Процесс неконтролируемого нагрева устройства может привести к его повреждению или выходу из строя.

- Шумов: Непреднамеренные автоколебания могут создавать электрический шум, что нарушает работу чувствительных электронных систем.

- Неустойчивости работы: В некоторых случаях автоколебания могут привести к сбоям в работе схем, особенно если они не предусмотрены конструкцией.

Для предотвращения нежелательных автоколебаний в схемах используют методы стабилизации, такие как термостабилизация, фильтрация шумов и правильный подбор элементов цепи.

Заключение

Автоколебания тока в кремнии — это интересное и важное явление, которое может быть, как полезным, так и нежелательным в зависимости от области применения. Эти колебания возникают благодаря сложным физическим процессам, связанным с нелинейной зависимостью тока от напряжения, термическими и электрическими эффектами. Автоколебательные режимы находят широкое применение в генераторах высокочастотных сигналов, осцилляторах и радиочастотных устройствах. Однако в некоторых случаях необходимо принимать меры для подавления нежелательных колебаний, чтобы обеспечить стабильную работу устройств.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Семёнов В.Г. *Физика полупроводников*. — Москва: Наука, 2016.

2. Zikrillaev N.F., Ayupov K.S., Shoabdurakhimova M.M., Ismaylov K. A., Norkulov N., Abdullaeva N.U., Mirkomilova M.S., Shukurova D.M. The mechanism of current auto-oscillations in compensated silicon doped with impurity atoms
3. ФОТОЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С БИНАРНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ $GexSi_{1-x}$ Н.Ф. Зикриллаев, К.С. Аюпов, Ф.Э. Уракова, Н.У. Абдуллаева
4. Абдуллаев, А. К. (2023). РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ДИПЛОМАТИИ В РАЗВИТИИ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ МАРШРУТОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. *Постсоветские исследования*, 6(3), 315-323.
5. Абдуллаев, А. К. (2023). РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ ДИПЛОМАТИИ В РАЗВИТИИ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ МАРШРУТОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. *Постсоветские исследования*, 6(3), 315-323.
6. Abdullaev, A. K. (2023). THE INFLUENCE OF THE TRANSFORMATIONS IN UZBEKISTAN'S ECONOMY ON PERSONNEL ISSUES DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4: История. Регионоведение. Международные отношения*, 28(3), 42-53.
7. Abdullaev, A. (2021). SOME ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT SECTOR IN THE CENTRAL ASIAN REGION. In *ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ: УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ И СОЦИАЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ* (pp. 296-299).
8. Азада, Б. Я., & Умида, Б. П. (2017). ПРОБЛЕМЫ ЗДОРОВЬЯ СВЯЗАННЫЕ С ЭКОЛОГИЕЙ СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ ПРАРАЛЬЯ. *Авиценна*, (13), 12-14.
9. Палванова, У. Б. (2024). Значение Формирования Навыков Оказания Первой Помощи У Студентов В Не Медицинских Образовательных Учреждениях. *Periodica Journal of Modern Philosophy, Social Sciences and Humanities*, 27, 93-98.
10. Палванова, У., Якубова, А., & Юсупова, Ш. (2023). УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИ СПЕНОМЕГАЛИИ. *Talqin va tadqiqotlar*, 1(21).