

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В МДП СТРУКТУРЕ ПРИ ВНЕШНЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© А.М.Свердлова, А.О.Мантуров, Я.Г.Федоренко

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
410071 Саратов, Россия
(Получена 21 июня 1995 г. Принята к печати 29 января 1996 г.)

Экспериментально исследованы колебательные режимы в неавтономном RL -контуре с МДП структурой. Установлено влияние свойств полупроводниковой подложки на возбуждение нелинейных колебаний в цепи. Анализ диаграмм режимов, фазовых характеристик, осциллограмм позволил выявить зависимость нелинейных колебаний от свойств МДП структуры. Возникновение нелинейных эффектов в цепи объяснено с помощью рассмотрения процессов накопления и рекомбинации носителей заряда в МДП структуре.

Исследованию неравновесных процессов в полупроводниках посвящено достаточно много монографий и статей. Традиционные методы изучения поверхностных явлений — вольт-фарадные характеристики, метод проводимости, метод последовательных импульсов и др. — не всегда дают необходимую информацию о динамике поверхностных процессов, протекающих в образце в неравновесных условиях.

Анализ нелинейных колебательных режимов, реализующихся в последовательной с МДП структурой RL -цепи при внешнем периодическом воздействии ранее не проводился.

Известны экспериментальные исследования [1–4] нелинейных цепей с p - n -переходом и варакторным диодом. В работе [3], например, предложена модель, где зависимость емкости диода от напряжения представлена в виде кусочно-линейной функции. Численно показано, что в последовательном колебательном контуре, в котором есть лишь один нелинейный элемент — емкость, возможно возникновение хаотических колебаний. Однако, несмотря на большое количество работ по исследованию нелинейного контура с p - n -переходом, изучению влияния свойств полупроводникового элемента на нелинейные эффекты в контуре уделялось недостаточное внимание.

Цель настоящей работы — исследование динамических режимов нелинейной цепи, содержащей МДП элемент при внешнем периодическом воздействии в зависимости от свойств полупроводника и параметров МДП структуры.

Исследуемая цепь — это последовательная RLC -цепь, где C — емкость МДП структуры, R, L — сопротивление и индуктивность в цепи, $L = 1.7$ мГн и $R = 0 \div 1.2$ кОм (см. рис. 1).

Объектами исследования были кремниевые МДП структуры с окислами редкоземельных элементов лютеция (Lu_2O_3), гадолиния (Gd_2O_3), иттрия (Y_2O_3) в качестве диэлектрика толщиной 100 \AA . Пленка алюминия служила полевым электродом. Использовались три типа подложек: однородно легированная n -Si; содержащая переход ($n^+ - p$)-Si и со скрытым диффузионным слоем ($n^+ - n^- - p$)-Si. На структуру подавался синусоидальный сигнал $V_i = V_0 \sin \omega t$, где V_0 и ω — амплитуда и частота соответственно.

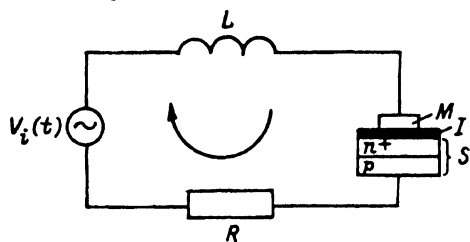


Рис. 1. Схема исследуемой цепи.
 M — металл, I — диэлектрик, S — полупроводник.

Измерения проводились с использованием схемы для наблюдения динамической вольт-амперной характеристики: напряжение $u(t)$ снималось с МДП структуры, ток $i(t)$ соответствовало падению напряжения на резисторе R . Проекция фазовых портретов на плоскость ток-напряжение и осциллограммы напряжения и тока через МДП элемент наблюдались на осциллографе С8-17. Измерения частот и наблюдение спектров колебаний осуществлялось на анализаторе спектра Я4С-56. Для анализа и обсуждения колебательных режимов в цепи строилась диаграмма режимов в координатах (амплитуда)–(частота внешнего воздействия) при постоянном параметре диссипации — сопротивлении. Устанавливая частоту внешнего воздействия, изменяли его амплитуду. Возникновение нового колебательного режима регистрировалось по фазовому портрету, спектру, осциллограммам и отмечалось на диаграмме режимов точкой. После прохождения необходимого диапазона частот и амплитуд на карте режимов появлялся ряд точек, соответствующих началу нового колебательного режима. Соединяя точки линией, получали области существования данного колебательного режима в определенном диапазоне частот и амплитуд внешнего воздействия. Для обнаружения возможных явлений гистерезиса осуществлялось изменение амплитуды в сторону как ее увеличения, так и уменьшения. Обозначения областей различных колебательных режимов даны в подписях к рисункам.

Результаты и их обсуждение

Осциллограммы, спектры, фазовые портреты наблюдаемых режимов представлены на рис. 2.

Приложенное внешнее электрическое поле приводит к накоплению носителей в области пространственного заряда (ОПЗ) и у границы раздела диэлектрик-полупроводник. Известно ^[5,6], что при достижении определенной концентрации накопленных носителей происходит переключение структуры в низкоомное состояние (в МДП структурах с $(p-n)$ - и $(p-n-n^+)$ -подложкой), либо ее обратимый пробой (в

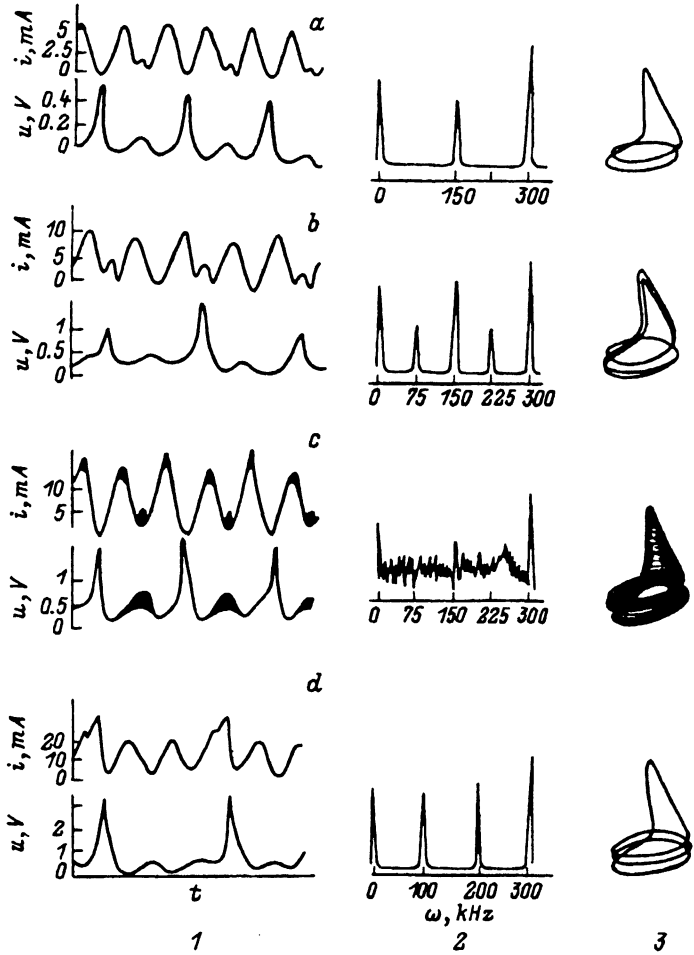


Рис. 2. Осциллограммы (1), спектры (2), фазовые портреты (3) колебательных режимов. *a* — первое удвоение периода, *b* — второе, *c* — хаос, *d* — добавление периода.

МДП структуре с *n*-подложкой), что приводит к возникновению импульса тока в цепи. На фазовом портрете системы этому импульсу тока соответствует амплитудный скачок на предельном цикле (рис. 2). На осциллограмме импульс тока $i(t)$ наблюдается в виде короткого пика с длительностью, меньшей чем период внешнего воздействия. Направление импульса тока и амплитудного скачка (вверх или вниз) зависит от типа проводимости подложки — *n* или *p*. Рассмотренный процесс сброса накопленных носителей может проходить синхронно, т.е. когда одному периоду внешнего воздействия соответствует один импульс тока. Это возможно в случае больших амплитуд воздействия и таких значений частоты, когда необходимое для переключения или пробоя количество носителей успевает образоваться за один период. При меньших амплитудах воздействия имеет место возникновение каскадов удвоения периода, добавления периода и хаотизации колебаний. Эти режимы связаны с недостаточной для переключения концентра-

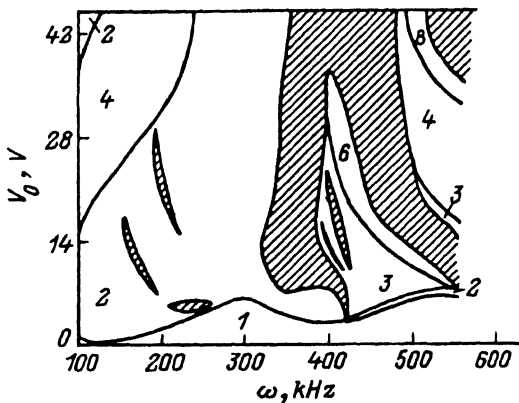


Рис. 3. Диаграмма режимов цепи с МДП структурой (однородная подложка). Показаны чередующиеся периодические и хаотические режимы: 1 — область предельного цикла, 2, 4, 8 — области первого, второго, третьего удвоения периода соответственно; 3, 6 — области первого и второго добавления периода соответственно. Штриховкой обозначена область хаотических колебаний.

цией накопленных носителей, и появляются либо один импульс тока на два периода внешнего воздействия (удвоение, рис. 2, а), либо два импульса различной амплитуды (рис. 2, б), в спектре соответствующие частоты субгармоник 75 и 150 кГц). При дальнейшем увеличении амплитуды происходит переход к хаотизации колебаний (рис. 2, с) и добавление периода (рис. 2, д).

На рис. 3 представлена диаграмма режимов для исследуемой цепи с МДП структурой на однородной подложке. Как видно, при увеличении амплитуды внешнего воздействия V_0 от 5 до 45 В в диапазоне частот ω от 200 до 600 кГц существует ряд сменяющих друг друга периодических режимов и хаоса. На диаграмме режимов удалось выделить зоны хаотичности в следующих диапазонах частот и амплитуд $\omega = 210 \div 250$ кГц и $V_0 = 5 \div 8$ В; $\omega = 320 \div 560$ кГц и $V_0 = 8 \div 44$ В; $\omega = 560 \div 600$ кГц и $V_0 = 36 \div 55$ В. Переход к хаотическим колебаниям происходит через удвоение периода. Добавление периода появляется после перехода к хаосу через удвоение или после удвоения, как, например, в диапазоне частот $\omega = 420 \div 560$ кГц.

Диаграмма режимов цепи с МДП ($n^+ - p$)-структурой приведена на рис. 4. На плоскости управляющих параметров существует только одна область хаотичности в диапазоне частот $\omega = 380 \div 450$ кГц при амплитудах $V_0 = 20 \div 44$ В. Переход к хаосу происходит через удвоение периода. Области удвоения и добавления периода образуют зоны гистерезиса.

На диаграмме режимов цепи с МДП ($n^+ - n - p$)-структурой (рис. 5) область хаотичности имеет большую площадь, чем на диаграмме режимов цепи с МДП ($n^+ - p$)-структурой, и охватывает более широкую область частот — до 600 кГц. Кроме того, гистерезис — слабый и существует только по удвоению.

Таким образом, в RLC -цепи, содержащей МДП элемент, возможно возникновение различных режимов колебаний, связанных с характерными временами накопления, захвата и рекомбинации неравновесных носителей. Переходы к хаотическому режиму через удвоение и добавление периода определяются процессами в МДП структуре, имеющими характерные времена протекания, которые согласуются с временными параметрами цепи. Построение диаграмм режимов в пространстве управляющих параметров (рис. 3, 4, 5) выявило их отличия для цепи с различными типами подложек в МДП структуре: различ-

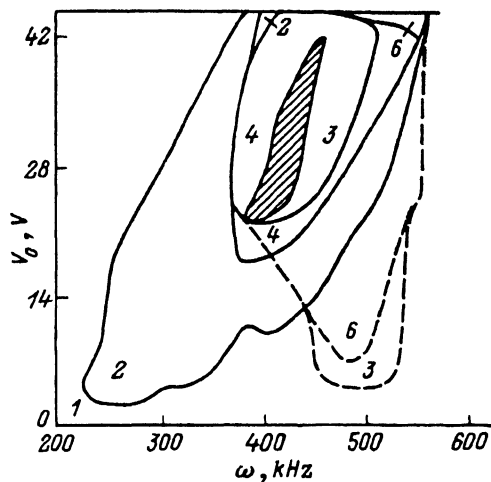


Рис. 4. Диаграмма режимов цепи с МДП (n^+p)-структурой (неоднородная подложка). Обозначения колебательных режимов те же, что на рис. 3.

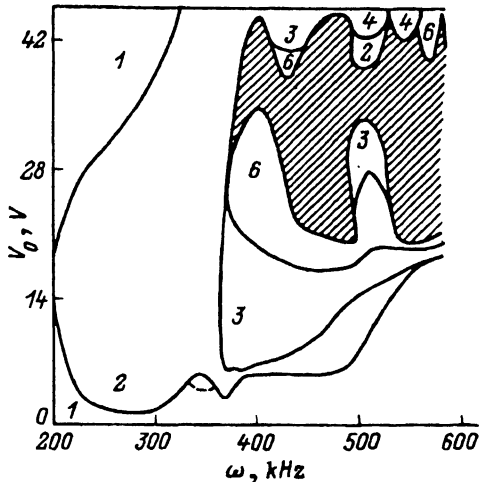


Рис. 5. Диаграмма режимов цепи с МДП (n^+p)-структурой (неоднородная подложка с диффузионным n -слоем). Обозначения колебательных режимов те же, что на рис. 3.

ный диапазон частот, в котором наблюдались области хаотичности, и разная последовательность чередования периодических и хаотических режимов. Однако во всех случаях переход к хаосу происходил через удвоение периода, а добавление периода появлялось только после хаотических колебаний. При увеличении параметра диссипации наблюдалась та же последовательность смены режимов: каскад удвоений \rightarrow хаос \rightarrow добавление.

Заключение

Проведено экспериментальное исследование нелинейных колебательных режимов в контуре с МДП структурой. Показано, что процессы накопления и релаксации носителей заряда на границе раздела полупроводник-диэлектрик сопровождаются возникновением последовательности удвоений, добавлений периода, хаоса. Обнаружено влияние типа подложки МДП структуры на возбуждение колебаний, отражающееся на диаграммах режимов.

Список литературы

- [1] J.H. Baxter, M.F. Bocko, D.H. Douglass. Phys. Rev. A, **41**, 619 (1990).
- [2] R.W. Rollins, E.R. Hunt. Phys. Rev. Lett., **49**, 1295 (1982).
- [3] T. Matsumoto, L.O. Chua, S. Tanaka. Phys. Rev. A, **30**, 1155 (1984).
- [4] В.Н. Марченко. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия, **30**, 13 (1989).
- [5] С. Зи. Физика полупроводниковых приборов (М., 1984) кн. 2.
- [6] В.И. Сивожелезов, О.Ф. Фомичева, А.М. Свердлова. Радиотехника и электроника, **34**, 838 (1989).

Редактор Л.В. Шаронова

Oscillations in MIS structure induced by a sinusoidal voltage

A.M. Sverdlova, A.O. Manturov, Ya.G. Fedorenko

Saratov State University, 410071 Saratov, Russia

An experimental study has been made of regimes of oscillations in a dependent RL circuit with a MIS structure. It has been found that properties of the semiconductor substrate affect inducing nonlinear oscillations in the circuit. Analyzing the regime diagrams, as well as the phase characteristics of oscillograms, made it possible to reveal the dependence of nonlinear oscillations on the properties of MIS structure. The nonlinear effects in the circuit take place due to processes of accumulation and recombination of charge carriers in MIS structure.
