Институт Теоретической и
Экспериментальной Физики

3 – 02

ITEP-3-02

Ю.Д.Катаржнов, В.Г.Недопекин,
В.И.Рогов, С.Т.Сухоруков

FERMILAB
MAR 1 2003
LIBRARY

Наблюдение спонтанной генерации в шумах тока запертого стабилитрона в диапазоне 0,3-50 мГц

Москва 2002

УДК 537.311.33 М - 16

НАБЛЮДЕНИЕ СПОНТАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ШУМАХ ТОКА ЗАПЕРТОГО СТАБИЛИТРОНА В ДИАПАЗОНЕ 0,3-50 мГц : Препринт ИТЭФ 3-02/

Ю.Д.Катаржнов, В.Г.Недопекин, В.И.Рогов, С.Т.Сухоруков - М.,2002-8с.

Исследована зависимость от времени тока запертых стабилитронов при постоянном напряжении путём непрерывных, многолетних измерений. Обнаружена спонтанная генерация импульсов тока в инфранизкочастотном диапазоне. Обсуждаются возможные физические причины, вызывающие наблюдаемую генерацию.

The spontaneous generation observation of the closed stabilitron noise current at the 0.3 - 50 mHz range

Yu.D.Katarzhnov, V.G.Nedopekin, V.I.Rogov, S.T.Sukhorukov

The time dependence of the closed stabilitron current was researched at constant voltage by means of several years continuous measurements. The spontaneous generation of current impulses had been found in the infralow frequency range. The possible physical processes causing the observed generation are discussed.

Рис. - 4, список лит. - 2 наим.

© Институт теоретической и экспериментальной физики, 2002

Исследование шумов и деградационных процессов в полупроводниковых приборах в настоящее время представляет значительный интерес, как с теоретической, так и практической точек зрения. Об этом свидетельствуют многочисленные материалы, публикуемые в сборниках ежегодного научно-технического семинара [1], а также материалы международных конференций [2].

В данной работе мы измеряли зависимость от времени тока запертых стабилитронов серии Д814Б при постоянном напряжении. Схема измерений, включающая операционный усилитель (ОУ) с большим входным сопротивлением, представлена на рис. 1. Амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП) осуществляет измерение текущего значения тока стабилитрона в течение стробирующего импульса длительностью 5 мкс от задающего генератора (Г). Период повторения стробирующих импульсов T первоначально был установлен равным 10 с. Результат каждого измерения (экспозиции) заносился в память ЭВМ для дальнейшей обработки. Величина тока стабилитронов была в пределах 5-30 мкА. Напряжение на стабилитроне поддерживалось постоянным с точностью $\sim 10^{-3}$, а его величина устанавливалась ниже напряжения стабилизации (пробоя) на 0,3-0,7 В. Схема (рис. 1) обеспечивала передачу флуктуаций тока стабилитрона до 40 мкА без искажений и не имела ограничений со стороны низких частот.

Измерения проводятся непрерывно (круглосуточно) с апреля 2000 г. по настоящее время. Каждые 1-3 суток накопленная информация в памяти ЭВМ передаётся на магнитные носители и обрабатывается по специальным программам.

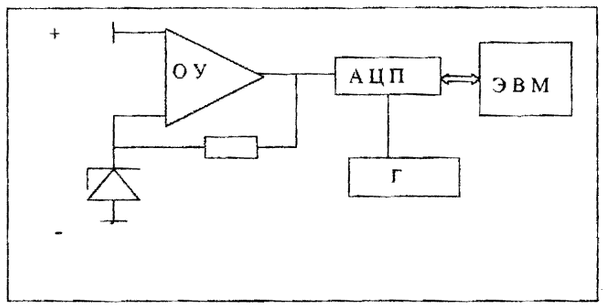

Рис. 1. Схема включения стабилитрона в измерительное устройство, Г-задающий генератор.

Для исключения влияния внешних факторов на ток в испытуемых диодах измерительная схема с диодами была помещена в термостат, температура в котором поддерживалась постоянной $\theta - 28^0$ С с точностью ~0,1 градуса. Кроме того, схема с диодами экранировалась алюминиевым коробом с толщиной стенок 2 мм.

В процессе многодневных круглосуточных измерений из двадцати экземпляров стабилитронов были отобраны для продолжения экспериментов три диода, в токе которых наблюдались наибольшие флуктуации с характерными временами порядка часов. Другими словами, дальнейшие измерения проводились на стабилитронах с нестабильной вольтамперной характеристикой. Характерная диаграмма зависимости тока такого стабилитрона от времени представлена рис. 2,а. В дальнейшем, через несколько месяцев непрерывных измерений в шумах токов этих стабилитронов наряду с медленными вариациями стали возникать ритмы флуктуации тока определённой частоты, причем в разных стабилитронах независимо друг от друга.

Опишем более детально процесс возникновения такой генерации на примере одного из стабилитронов, который был установлен в схему в апреле 2000 г. В конце сентября (т.е. через 5,5 месяцев!) во флуктуациях тока в течение 1-2 часов в сутки стал наблюдаться ритм со средним периодом T_1=9,4 мин (см. рис. 2,б) и к концу октября установилась постоянная генерация в шумах тока со средним периодом T_1=9,6 мин (см. рис. 2,в). Из этого рисунка также видно, что помимо периода T_1 возникают короткие броски тока, которые указывают на существование относительно высокочастотных ритмов, для наблюдения которых частота задающего генератора при измерении тока недостаточна.

В этой связи в конце мая 2001 г. задающий генератор был переведён в режим T=0,5 с. В дальнейшем для проведения измерений использовались два

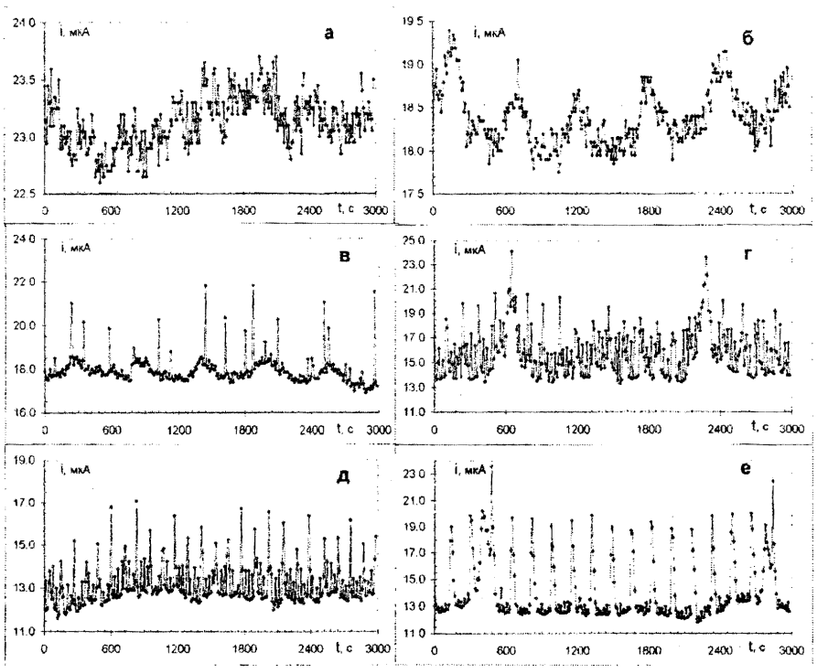

Рис. 2. Характерные диаграммы обратного тока i стабилитрона в зависимости от времени t, полученные в процессе непрерывных измерений с апреля 2000 г. по январь 2002 г. : а - измерено 15.09.00 г. (через 5 месяцев после включения стабилитрона в схему); б - измерено 30.09.00 г.; в - измерено 25.10.00 г.; г - измерено 7.06.01 г.; д - измерено 11.06.01 г.; е - измерено 26.06.01 г.

режима накопления данных. В первом из них результат каждой экспозиции запоминался для вывода на диск по окончании измерения. Затраты памяти и дискового пространства при этом не позволяли проводить длительные измерения, поэтому первый режим использовался периодически в коротких (несколько часов) измерениях, в которых достигалось наилучшее разрешение по времени. Основная по времени часть измерений проводилась во втором режиме. При этом в память записывались средние значения тока по двадцати последовательным экспозициям, так что накопление данных проводилось с шагом по времени 10 с. На рис. 3 представлена зависимость тока стабилитрона от времени, измеренная в первом режиме в июле 2001 г. Видно, что к этому времени сформировались два относительно высокочастотных ритма со средним периодом T_2=3 мин и с периодом T_3=28 с.

Типичный вид флуктуаций тока, измеренный в режиме 2 показан на рис. 2,г. Из рисунка видно, что через 13 месяцев после включения стабилитрона в схему в шуме обратного тока присутствуют хорошо выраженные ритмы со средними периодами T_1=27,7 мин (вначале он был 9,6 мин) и T_2~2 мин. Кроме того, просматривается период T_4~T_1/2.

Ритм с периодом T_2~2 мин начинает интенсивно развиваться в шуме тока стабилитрона со второй половины мая 2001 г., при этом другие ритмы становятся нестабильными (см. рис. 2,д). В конце июня 2001 г. доминирует ритм с периодом T_2=2,8 мин, а ритм с большим периодом, который выделяется характерной формой импульса тока, имеет величину T_1~40 мин и нестабилен (см. рис. 2,е). Такая генерация тока сохраняется уже более шести месяцев (янв. 2002 г.).

Итак, через 14 месяцев после установки стабилитрона в схему он по существу стал генератором импульсного тока с периодом T_2=2,8 мин (эта величина получена с помощью Фурье-анализа). Амплитуда генерации порядка 50% от постоянной составляющей тока (ПСТ). Следует отметить, что с

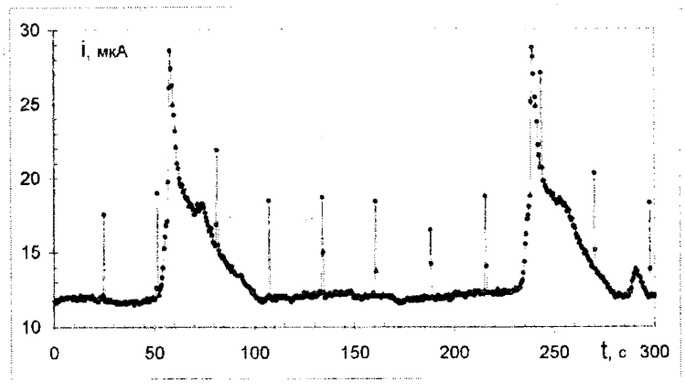

Рис. 3. Диаграмма обратного тока стабилитрона, измеренная 2.07.01г. с шагом T=0,5с.

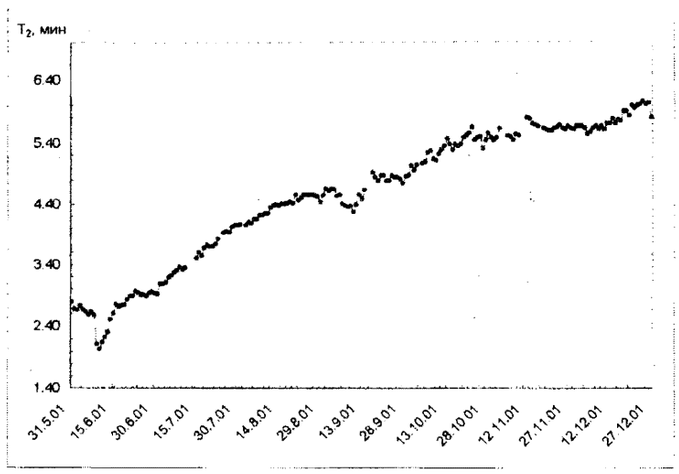

Рис. 4. Зависимость от времени среднего за сутки периода T_2 генерации тока запертого стабилитрона, спонтанно начавшейся через 14 месяцев после установки его в схему.

момента возникновения в шуме тока этой генерации в течение последующих шести месяцев наблюдались неритмичные многочасовые флуктуации ПСТ в пределах не более ±20% от средней величины 12,5 мкА за этот период. Анализ спектра шума тока показал, что эти флуктуации ПСТ не влияют на величину амплитуды и периода T_2 генерации.

Период T_2 не является постоянной величиной, он медленно увеличивается со временем порядка 0,6 мин/мес. (см. рис.4). Напомним, что ритм с периодом T_1 начался с величины 9,4 мин и через год (окт. 2001 г.), возникая эпизодически, имеет величину ~ 40 мин, т.е. наблюдается та же закономерность роста периода со временем. Отметим ещё одно возможное свойство ритмов T_1, T_2 и T_3 в шуме обратного тока стабилитрона – они энергетически независимы или возникают в разных областях полупроводника, поскольку не подавляют друг друга, а суммируются (см. рис. 2,е и рис. 3).

Для двух других стабилитронов, с которыми проводились многомесячные измерения, также периодически наблюдались ритмы с характерными периодами 10-60 с и 4-5 мин, но в этих стабилитронах ритмы были неустойчивы и нередко прерывались. Таким образом, для всех трех стабилитронов наблюдались ритмы с периодами 0,5-40 мин, что позволяет предположить существование общей физической причины, вызывающей эти ритмы. Различия в характере генерации ритмов и в развитии её во времени для разных стабилитронов стандартной серии возможно указывают на связь генерации с неконтролируемыми параметрами диодов данной серии, например с неконтролируемыми примесями в кристалле, свойствами контактов и т.п.

Что касается общей физической причины, вызывающей генерацию, то можно было бы предположить наличие участка с отрицательным динамическим сопротивлением в вольтамперных характеристиках диодов и, как следствие этого, возникновение релаксационных колебаний. Однако такой механизм представляется нам маловероятным, так как при измерении

вольтамперных характеристик с шагом 0,05 В мы не наблюдали никаких указаний на наличие участков с отрицательным сопротивлением. Кроме того, трудно представить механизм релаксационных колебаний в схеме рис. 1 со столь низкой частотой 0,3-50 мГц. Для таких медленных ритмов более вероятным представляется механизм генерации, связанный с периодическим изменением химического состава примесей на поверхности кристалла. Тем не менее, вопрос о механизме генерации наблюдаемых минутных ритмов в шуме обратного тока стабилитрона в данный момент остается открытым.

Авторы благодарны А.Б.Маненкову и А.М.Гуляеву за полезные обсуждения.

Литература

1. Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах. Материалы докладов Международного научно-методического Семинара (Москва. 20-24 ноября 2000г.).М.:МЭИ,2001.
2. XVI Международная конференция Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuation ICNF' 2001.November 2001.USA.