Изв. АН Армянской ССР, Физика, 6, 386—390 (1971)

ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА *S*-ДИОДОВ ИЗ КРЕМНИЯ, КОМПЕНСИРОВАННОГО ЦИНКОМ

Г. М. АВАКЬЯНЦ, З. А. АДАМЯН, Р. С. БАРСЕГЯН,
С. А. ТАРУМЯН, С. В. ОГАНЕСЯН

Исследуются избирательные и генерационные свойства *S*-диодов из кремния, компенсированного цинком. Выяснено, что с ростом тока смещения и с понижением температуры резонансная частота увеличивается. Проведены измерения амплитуды и частоты генерируемых колебаний в зависимости от емкости, тока смещения и температуры.

Известно, что *S*-диоды, изготовленные на основе компенсированных полупроводниковых материалов, в области отрицательного сопротивления (ОС) в цепи переменного сигнала ведут себя аналогично параллельному колебательному контуру [1, 2]. Кроме того, такие диодные структуры как в области ОС, так и на положительных участках вольт-амперной характеристики (ВАХ) генерируют колебания, близкие к синусоидальным [3, 4].

Нами приводятся результаты исследований резонансных и генерационных свойств *S*-диодов, изготовленных из кремния, компенсированного цинком. Параметры исходного материала, технология изготовления и характеристики диодов даны в [5].

При исследовании избирательных характеристик диодная структура шунтировалась внешней емкостью, образуя колебательный контур. Схема измерений мало отличалась от схемы, при помощи которой снимают разонансные кривые обычных параллельных контуров. Отличие состояло лишь в том, что через диод проходили токи, величина которых задавала рабочую точку. С генератора синусоидальных колебаний (Г3-33) сигнал поступал на диод. В цепь было включено также малое токовое сопротивление. Измеренное падение напряжения на этом сопротивлении, деленном на сопротивление, давало ток в цепи.

Падение напряжения на диоде и эффективное значение переменного напряжения на контуре измерялось вольтметром В3-13. Величина нагрузочного сопротивления была достаточно большой, чтобы обеспечить устойчивое состояние на всей ВАХ. Величина переменного тока выбиралась достаточно малой, чтобы сигнал на контуре не искажался, но такой, чтобы напряжение на нем существенно превышало напряжение собственных шумов.

Измерения показали, что у исследуемых диодов характерны две области токов на ВАХ, где проявляются избирательные свойства: первая область находится в самом начале участка ОС до появления генерации, вторая область начинается там, где прекращается генерация

и простирается до участка независимости тока от напряжения (вертикали).

Семейство амплитудно-частотных характеристик диодов при шунтирующей емкости 100 *пф* для разных токов смещения представлено на рис. 1а, б. С ростом тока резонансная частота возрастает. Она такаже растет с понижением температуры от +60°С до —30°С (например, при токе 2,4 *ма* от 35 *кгц* до 220 *кгц*) (рис. 2).

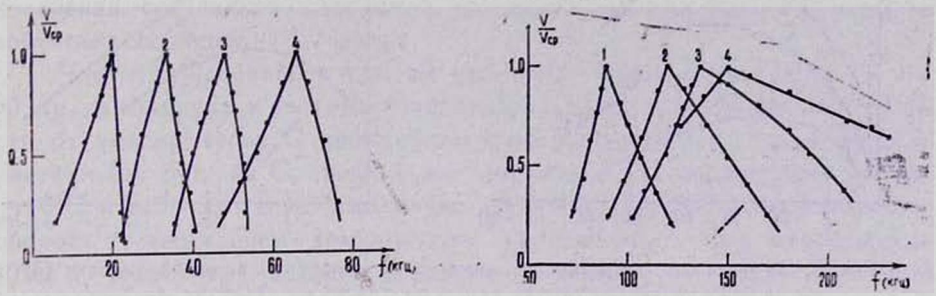

Рис. 1. Семейство амплитудно-частотных характеристик *S*-диодов из кремния, компенсированного цинком. а) для токов до участка генерации: 1—0,4 *ма*, 2—0,6 *ма*, 3—0,8 *ма*, 4—1,2 *ма*. б) для токов после участка генерации 1—25 *ма*, 2—3,5 *ма*, 3—4 *ма*, 4—5 *ма*.

Добротность *Q* контура определялась из формы резонансных кривых как отношение резонансной частоты к полосе пропускания на уровне 0,707 от максимального значения амплитуды.

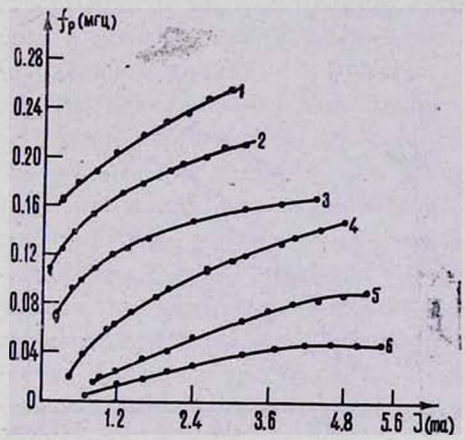

Рис. 2. Зависимость резонансной частоты контура от тока смещения при разных температурах. Т°С: 1÷ —30, 2÷ —20, 3÷ —5, 4÷ +25, 5÷ +45, 6÷ —60.

В области токов, соответствующих началу участка ОС, она растет с ростом тока до тех пор, пока не возникает генерация. После участка генерации *Q* падает. С увеличением внешней шунтирующей емкости добротность при постоянном токе сначала растет, затем при емкостях порядка 500 ÷ 700 *пф* уменьшается (рис. 3а). С понижением

температуры Q системы резко возрастает (рис. 3б). Измерения показали, что максимальная величина ее достигает десятков единиц.

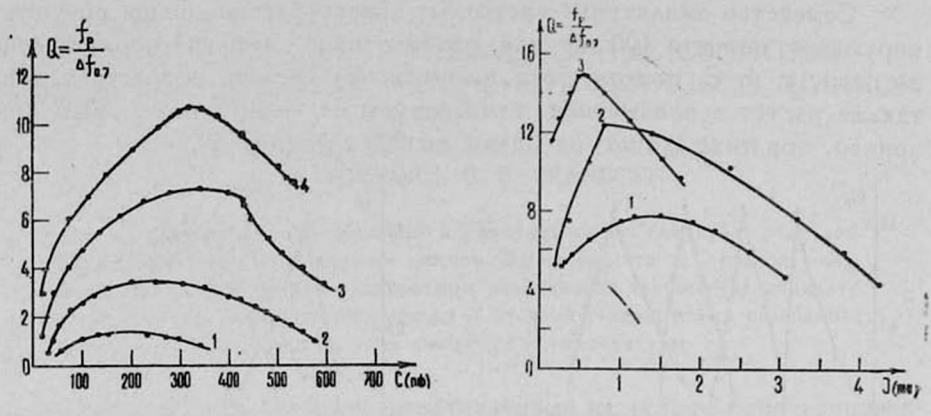

Рис. 3. Зависимость добротности контура от изменения внешней емкости (а) и от тока смещения (б). а) 1—2,5 *ма*, 2—3,5 *ма*, 3—3 *ма*, 4—7 *ма*. б) T°C: 1 ÷ +45, 2 ÷ +25, 8 ÷ −5.

Зависимость резонансной частоты от шунтирующей емкости такая же, как и для параллельного колебательного контура с индуктивностью, зависящей от тока смещения. Оценки измерения параметров индуктивности L и отрицательного сопротивления ρ, проведенные нами на 20 ÷ 25 диодах показали, что индуктивность для разных диодов находится в пределах от $7 \cdot 10^{-2}$ *гн* до 10^{-4} *гн*, а ρ—от 200 до 1000 *ом*.

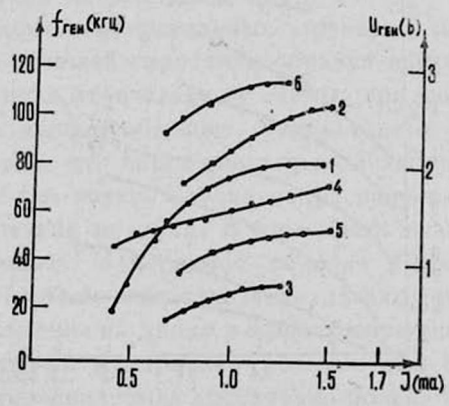

Рис. 4. Зависимость частоты (1, 2, 3) и амплитуды (4, 5, 6) генерации от тока смещения при разных температурах T°C: 1,4 ÷ +28, 2,5 ÷ +40, 3.6 —:— 10.

Величины L и ρ легко управляются током смещения. С ростом тока в области ВАХ до участка генерации наблюдается резкое уменьшение индуктивности для всех образцов. Нелинейные характеристики индуктивности, величина которой легко управляется током смещения и частотой, указывают на возможность применения S-диодов в качестве твердотельной индуктивности в микроэлектронике.

В области токов, соответствующих ОС, наблюдались колебания, близкие к гармоническим (рис. 4). С увеличением внешней емкости частота колебаний уменьшается, тогда как их амплитуда возрастает. При емкостях больших 200 *пф* колебания носят релаксационный характер. Форма колебаний, частота и амплитуда определяются также током смещения. Амплитуда и частота колебаний с увеличением тока растут. Так при комнатной температуре и при токе 0,5 *ма* амплитуда колебаний составляет 1 вольт, в то время как при токе 1,3 *ма* она достигает значения — 1,7 вольт.

Частота колебаний в том же интервале токов меняется от 20 до 80 *кгц*. Амплитуда и частота колебаний находятся в сильной зависимости от температуры. С понижением температуры амплитуда колебаний растет. Так при 40°С, токе 1 *ма* амплитуда составляет 1,1 *в*, а при — 10°С и том же токе амплитуда — 2,75 *в*. Частота колебаний наоборот: с понижением температуры уменьшается. При температуре 40°С и токе 1 *ма* частота составляет 85 *кгц*, в то время как при — 10°С и том же токе частота — 25 *кгц*. С понижением температуры сужается область токов, при которых имеют место колебания, их частота уменьшается с увеличением внешней шунтирующей емкости.

Оценки показывают, что обратная величина резонансной частоты и частоты генерации иследуемых образцов порядка величины времени жизни или пролета носителей заряда (8 — 12 *мксек*).

Так как у исследованных элементов колебания существуют только на падающем участке ВАХ, то они по природе являются автоколебаниями, возникающими в цепи за счет компенсации потерь энергии отрицательным сопротивлением диода.

В связи с тем, что исследуемые *S*-диоды из кремния, компенсированного цинком, в цепи переменного сигнала ведут себя аналогично параллельному контуру высокой добротности, мы исследовали возможность использования их в качестве основного элемента усилителя электрических колебаний. Как оказалось при неизменных сопротивлениях нагрузки и емкости, от тока смещения зависят такие параметры схемы как добротность, коэффициент усиления, резонансная частота. Результаты эксперимента сравнивались с теорией [3], где исследованы динамические свойства диода на участке ОС. В этом расчете рассматриваются достаточно малые частоты и полное комплексное сопротивление диода представлено в виде

$$\tilde{Z}_a = -\rho(J, \omega) + i\omega L(J, \omega),$$

где $\rho(J, \omega)$ и $L(J, \omega)$ сложные функции от частоты смещающего тока. Ходы зависимостей резонансной частоты от тока смещения, добротности контура от тока смещения, емкости и температуры, находятся в качественном согласии с [3].

В отличие от диодов с примесью кадмия [2] избирательные свойства данных диодов проявляются как до участка генерации, так и после. Это наблюдается и у диодов с примесью золота [1, 3].

Однако резоансные частоты и частоты генерации у диодов с примесью золота почти на порядок выше.

Институт радиофизики и электроники АН АрмССР Поступила 15.I.1971

ЛИТЕРАТУРА

1. *Г. М. Авакянц, Л. И. Алимова, В. И. Мурыгин, Ю. С. Скрипников, Р. А. Церфас*, Радиотехника и электроника, 10, 2074 (1965).
2. *Ю. А. Абрамян*, Автореферат кандитатской диссертации. ЕрГУ, 1969.
3. *Г. М. Авакьянц, Р. С. Барсегян, Ш. Каниязов, Г. Б. Корнильцева, В. И. Мурыгин, Р. А. Церфас*, Изв. АН АрмССР, Физика, 2, 223 (1967).
4. *Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, Р. С. Барсегян, С. А. Тарумян*, ФТП, 5, 5, (1971).
5. *Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, Р. С. Барсегян, С. В. Оганесян, С. А. Тарумян*, ДАН АрмССР, 52, 76—80 (1971).

ՑԻՆԿՈՎ ԿՈՄՊԵՆՍԱՑՎԱԾ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԱՅԻՆ ԴԻՈԴՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՂԱԿԱՆ ԵՎ ԳԵՆԵՐԱՑԻՈՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆՑ, Զ. Ն. ԱԴԱՄՅԱՆ, Ռ. Ս. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ
Ս. Ա. ԹԱՌՈՒՄՅԱՆ, Ս. Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Հետազոտվում են ցինկով կոմպենսացված սիլիցիումային S-դիոդների ընտրողական և գեներացիոն հատկությունները։ Պարզվել է, որ շեղման հոսանքի մեծացմանը և ջերմաստիճանի փոքրացմանը զուգընթաց մեծանում է ռեզոնանսային հաճախականությունը։ Ներկայացված են ամպլիտուդայի և հաճախականության չափումները կախված գեներացվող տատանումների ունակությունից, շեղման հոսանքից և ջերմաստիճանից։

SELECTIVE AND GENERATIVE PROPERTIES OF *S*-DIODES MADE FROM SILICON COMPENSATED BY Zn

G. M. AVAKIANTS, Z. N. ADAMIAN, R. S. BARSEGIAN,
S. A. TAROUMIAN, S. V. OGANESIAN

Selective and generative properties of *S*-diodes made from silicon, compensated by Zn are studied. The resonance frequensy-as experiments give it—increases with growth of bias current as well as the decrease of temperature. Measurements of amplitude and frequency of generated oscillations in dependence of the capacity, the bias current and the temperature are carried out.