

ТЕНЗОСВОЙСТВА СИЛЬНОКОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ В СОСТОЯНИИ АВТОКОЛЕБАНИЙ

© *М.К.Багадырханов, Х.Ф.Зикриллаев,
Х.М.Илиев, А.Хамидов*

В настоящее время достаточно актуален вопрос повышения чувствительности активных элементов полупроводникового материала к внешним воздействиям с целью разработки многофункциональных датчиков и приборов. Решение данной проблемы возможно получением и исследованием новых материалов так как материалы, применяемые в микроэлектронной промышленности и приборы на их основе исчерпали все свои возможности по чувствительности к внешним воздействиям.

В этом плане многообещающими являются сильнокомпенсированные полупроводники, легированные некоторыми примесями, создающими глубокие энергетические уровни с анизотропными сечениями захвата для электронов и дырок. В таких материалах при определенных условиях наблюдаются физические явления, параметры которых имеют аномально большие чувствительности к внешним воздействиям.

К таким явлениям можно отнести самовозбуждающие и незатухающие автоколебания тока, обнаруженные нами в компенсированном кремнии, легированном серой, цинком и марганцем [1-3]. Автоколебания тока наблюдаются в широком интервале температур, электрического поля и интен-

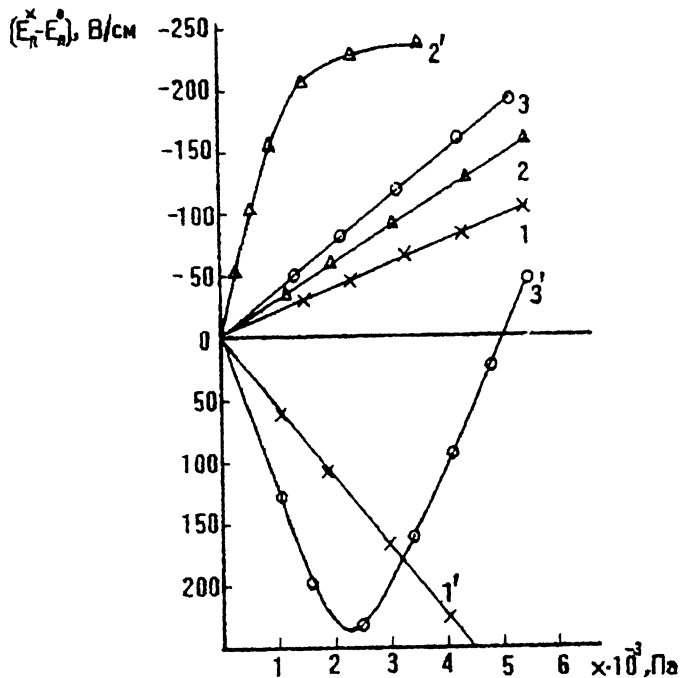


Рис. 1. Зависимость порогового электрического поля возбуждения автоколебания тока E_n от одноосно-упругого сжатия: 1 — Si(S), 2 — Si(Zn), 3 — Si(Mn) — сжатия по оси [111]; 1' — Si(S), 2' — Si(Zn), 3' — Si(Mn) — сжатия по оси [100].

сивности освещения, имеют стабильные воспроизводимые параметры, и существует четкая корреляция между параметрами материала и автоколебаний.

Исследования влияния внешних воздействий на условия возбуждения автоколебаний представляют научный и практический интерес. В данной работе приводятся результаты исследования влияния одноосно-упругого сжатия (ОУС) на условия возбуждения и параметры автоколебания тока в материалах Si(S), Si(Zn), Si(Mn). Для измерения нами были подготовлены образцы в виде параллелепипеда с одинаковыми размерами $1.5 \times 1.5 \times 3.0$ мм и удельными сопротивлениями. ОУС осуществлялась вдоль главных кристаллографических ориентаций [111], [110], [100] на установке, описанной в работе [4].

На рис. 1 приведены закономерности изменения порогового электрического поля возбуждения автоколебаний E_n от величины ОУС. Как показали результаты исследования, во всех материалах при сжатии по оси [111] исчезали

автоколебания тока (кривые 1, 2, 3), возбужденные до приложения ОУС, т. е. наблюдается гашение автоколебаний. Для того, чтобы восстановить прежние автоколебания тока, необходимо увеличить электрическое поле, приложенное к образцу, или снять ОУС. С ростом величины сжатия значение E_n линейно возрастает и описывается следующим соотношением:

$$E_n^x = E_n^0 + \alpha_{[111]} X,$$

где E_n^0 — пороговое электрическое поле возбуждения автоколебаний при отсутствии ОУС.

Значения барических коэффициентов роста E_n в материалах Si(S), Si(Zn) и Si(Mn) соответственно равны $\alpha_{[111]} = 1.7 \cdot 10^{-7}$ В/см · Па, $\alpha_{[111]} = 2.25 \cdot 10^{-7}$ В/см · Па, $\alpha_{[111]} = 2.75 \cdot 10^{-7}$ В/см · Па.

Следует отметить, что при сжатии по оси [110] E_n также линейно возрастает во всех материалах, однако скорость роста достаточно слабая.

Различный характер изменения E_n наблюдается при сжатии образцов Si(S), Si(Zn) и Si(Mn) вдоль оси [100]. В материале Si(S) в исследуемом интервале ОУС ($10^5 - 6 \times 10^8$) Па E_n линейно уменьшается с барическим коэффициентом $\alpha_{[100]} = -5 \cdot 10^{-7}$ В/см · Па. В материале Si(Mn) E_n линейно уменьшается с коэффициентом $\alpha_{[100]} = -9.2 \times 10^{-7}$ В/см · Па до величины сжатия $X = 2.5 \cdot 10^8$ Па, затем начинает линейно возрастать почти с такой же скоростью.

Таким образом, в материалах Si(S), по зависимости E_n от ОУС имеется участок, где выполняется условие $E_n^x < E_n^0$. Наличие такого участка приводит к тому, что при электрических полях, меньших, чем E_n^0 , в цепи можно возбуждать автоколебания тока при помощи сжатия в направлении [100], т. е. возникают автоколебания, стимулированные сжатием (кривые 1', 3').

В материале S(Zn) наблюдается обратная зависимость E_n от ОУС в направлении [100]. До величины ОУС $2 \cdot 10^8$ Па E_n растет с барическим коэффициентом $\alpha_{[100]} = 10^{-7}$ В/см · Па, переходя к насыщению (кривая 2').

Исследования показывают, что ОУС заметно влияет также на параметры автоколебаний тока. На рис. 2 приведены относительные изменения частоты автоколебаний тока в зависимости от одноосно-упругого сжатия для кристаллографической ориентации [111] и [100]. Как видно из рисунка (кривые 1, 3 и 1' 3'), в материале Si(S) и Si(Mn) эта зависимость имеет такой же характер, как E_n , однако с противоположным знаком. Аномальный рост частоты автоколебаний

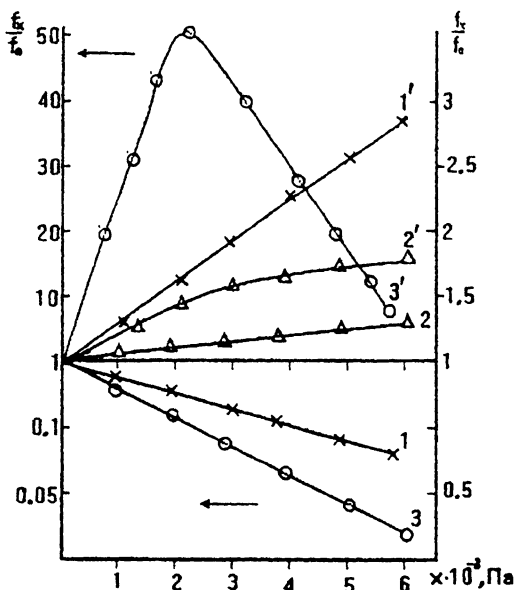


Рис. 2. Зависимость относительного изменения частоты автоколебания тока от одноосно-упругого сжатия: 1 — Si(S), 2 — Si(Zn), 3 — Si(Mn) — сжатия по оси [111]; 1' — Si(S), 2' — Si(Zn), 3' — Si(Mn) — сжатия по оси [100].

тока в Si(Mn) имеет место при $X = 2.5 \cdot 10^8$ Па и изменяется в 50 раз (кривая 3'). В материалах Si(S) и Si(Zn) частота возрастает в 3 и 2 раза соответственно при $X = 6 \cdot 10^8$ Па. Барические коэффициенты скорости изменения частоты для этих материалов при этом соответственно равны: $4 \cdot 10^{-8}$, $3.4 \cdot 10^{-10}$, $1.5 \cdot 10^{-9}$ Гц/Па.

При сжатии в направлении [111] частота автоколебания тока в Si(Mn) также имеет аномально высокую чувствительность и уменьшается в 20 раз при $X = 6 \cdot 10^8$ Па (кривая 3), тогда как в материале Si(S) она уменьшается в 2 раза, а барические коэффициенты для них соответственно имеют значения $6.3 \cdot 10^{-9}$, $1.6 \cdot 10^{-10}$ Гц/Па. В материале Si(Zn) частота линейно возрастает с барическим коэффициентом $5 \cdot 10^{-10}$ Гц/Па.

Следует отметить, что в направлении сжатия [110] характер изменения f аналогичен направлению [111], однако изменения не столь ощутимы.

Исследования влияния одноосного сжатия по оси [100], [110], [111] на амплитуду автоколебаний тока I показали

идентичность характера его изменения с зависимостью E_n от ОУС.

Идентичный характер изменения E_n от ОУС по оси [111] во всех исследуемых материалах обусловлен тем, что при таких условиях сжатия симметрия кристаллической решетки сохраняется, отсутствует расщепление энергетических спектров и происходит только линейное уменьшение ширины запрещенной зоны.

При сжатии в направлении [100] симметрия кристаллической решетки сильно изменяется, расщепляется энергетический спектр зоны проводимости и валентной зоны, в результате изменяется не только концентрация носителей тока, но и их подвижность.

Изменения симметрии кристаллической решетки по-разному влияют на состояние различных атомов в зависимости от расположения их в решетке, соответственно изменяется степень заполнения и скорость перезарядки их уровней, что и отражается в полученных нами зависимостях $E_n I$ и f от величины ОУС.

Линейность характера изменения E_n , I и f от сжатия упрощает описание физического механизма автоколебаний и его применения при разработке универсальных многофункциональных датчиков и приборов на их основе.

Список литературы

- [1] Багадырханов М.К., Зикриллаев Н.Ф. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 12.
- [2] Багадырханов М.К., Аскарлов Ш.И., Самизов К.А. и др. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 7. С. 1315–1317.
- [3] Багадырханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., Арзикулов Э.У. // ФТП. 1992. Т. 26. В. 9. С. 1536–1539.
- [4] Багадырханов М.К., Хамидов А., Абдураимов А., Илиев Х.М. и др. // ПТЭ. 1988. В. 4. С. 174–176.

Ташкентский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
18 марта 1996 г.