

На рис. 3 приведена зависимость изменения сопротивления и КТЧ от числа ЦЗПД в области  $1 \leq N \leq 4$ . Видно, что величина  $K$  резко уменьшается, а  $R$ -увеличивается, с ростом количества

ЦЗПД при малом  $N$ , а затем переходят к плавному монотонному спаду. По-видимому, начальные участки зависимости  $R_\epsilon(N)$  и

$K_\epsilon(N)$  обусловлены сильно  
 неравновесными ВМН не  
 термообработанных пленок

**Заключение.** Изменения величины сопротивления, КТЧ плёнок с ростом числа циклов деформации можно объяснить ростом величины диэлектрического зазора между кристаллитами плёнки. Модель, описывающая электропроводность через микро контактирующие поверхности кристаллитов, на основе теории протекания объясняет высокие значения величины КТЧ плёнок и нелинейность их статической деформационной характеристики. Пористые пленки из соединения  $(Bi_{0,25}Sb_{0,75})_2Te_3$ , полученные термическим испарением в вакууме при указанных выше оптимальных технологических параметрах, могут быть применены в качестве датчика накопления усталостных повреждений деталей различных конструкций.

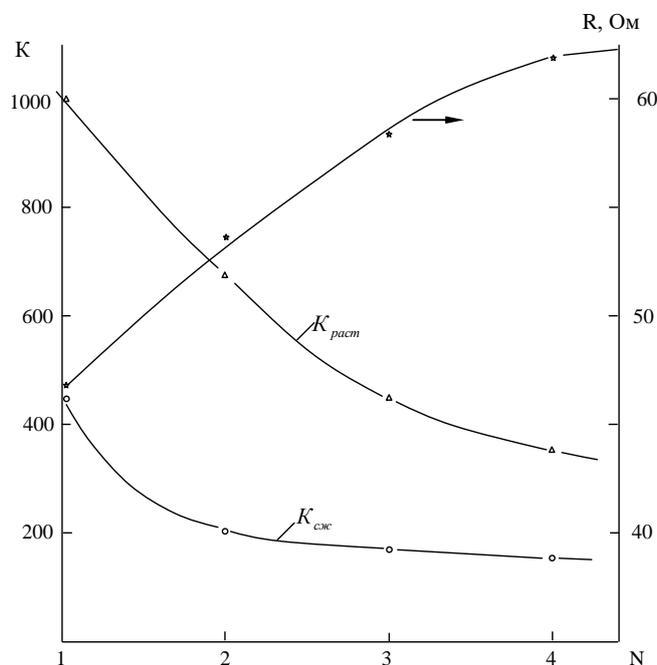


Рис.3. Изменение сопротивления  $R$  и КТЧ с ростом числа ЦЗПД в области  $1 \leq N \leq 4$ .

### Литература

1. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.1- Ташкент, «Фан», 1989, 182 с.
2. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута. Ч.2 - Фергана, «Техника», 2008. 116 с.
3. Сулаймонов Х.М. Влияние циклической деформации на электропроводность пленок  $p$ - $(Bi_{0,3}Sb_{0,7})_2Te_3$  на переменном токе. // Журнал технической физики. 2017. –Т. 87, № 3, с. 471-472.
4. Сулаймонов Х.М., Умаров М.Г., Юлдашев Н.Х. Тензочувствительность поликристаллических пористых пленок //Актуальные проблемы современной науки-Россия. 2015, №4.

### СПЕКТРАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ ТОКА В КОМПЕНСИРОВАННОМ КРЕМНИИ

Зикриллаев Н.Ф., Зикриллаев Х.Ф., Шоабдурахимова М.М.,  
 Абдуллаева Н., Абдурахмонов С., Алиев Б.

**Аннотация:** При исследовании фотоэлектрических свойств образцов компенсированного кремния диффузионно легированного примесными атомами марганца,

цинка, серы и селена обнаружено, что в определенных условиях (температура, интенсивности освещения, напряженности электрического поля) были обнаружены низкочастотные автоколебания тока с большими значениями амплитуды. Исследованные граничные области существования этих автоколебаний тока от энергии (длины волны) падающих фотонов показали, что эти автоколебания наблюдаются в широком спектре излучения. Из анализа результатов исследования определены закономерности изменения амплитуды и частоты автоколебаний от длины волны монохроматического излучения. Предложен механизм автоколебания тока в образцах компенсированного кремния с учетом особенностей поведения примесных атомов в кремнии.

**Ключевые слова:** кремний, примесь, автоколебания, амплитуда, частота, энергия фотонов, температура, форма колебания.

Обнаруженные автоколебания тока в полупроводниках с научной и прикладной точки зрения являются одним из самых ярких и многообещающих физических эффектов, позволяющих развить новое научное направление неравновесных термодинамических эффектов в полупроводниках и показывают возможности использования их в электронике.

Анализ литературных данных показал, что еще до конца не изучены кинетика изменения параметров (амплитуда, частота) и физические механизмы возбуждения автоколебаний тока от внешних воздействий, а также физика переходных процессов от равновесного к неравновесному состоянию в полупроводниковых материалах. Кроме этого, до настоящего времени отсутствуют достоверные теоретические и экспериментальные данные о термодинамических условиях существования автоколебаний тока с регулярными, стабильными и воспроизводимыми параметрами [1,2].

В прикладном аспекте автоколебания тока в полупроводниках позволяют создать целый класс новых приборов функциональной электроники (твердотельные генераторы, запоминающие элементы и устройства памяти, приборы записи и передачи информации и т.д.) и принципиально новое поколение датчиков физических величин с амплитудно-частотным выходом.

Исследования автоколебаний тока проводились в схеме последовательного соединения; сопротивление нагрузки с исследуемым образцом, при выполнении условия  $R_n \ll R_{обр}$ . Амплитуда, частота и форма автоколебаний тока определяли на самописце и осциллографе. Образцы освещались спектрометром марки ИКС-21 и были установлены в специальные криостаты, которые позволили охладить температуру образцов до  $T=80\text{K}$  и поддерживать постоянную интенсивность монохроматического света. Изменения интенсивности монохроматического излучения при различных длинах волн проводились с помощью калиброванных сеток и регулированием щели спектрометра.

В высокоомных компенсированных образцах кремния ( $\rho=10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) легированного примесными атомами марганца, цинка, серы и селена при освещении монохроматическим светом с энергией фотонов которая меньше, чем величина ширины запрещенной зоны кремния  $h\nu < E_g$ , а также при температуре жидкого азота ( $T=77\text{K}$ ) наблюдаются низкочастотные автоколебания тока с большой амплитудой, природа которых связана с температурно-электрической неустойчивостью.

Анализ полученных результатов исследования позволил установить, что

автоколебания тока в компенсированных образцах кремния наблюдаются в широком интервале температур  $T=80\div 200$  К и меньшей энергии фотонов, чем ширина запрещенной зоны кремния. Исследование спектральной зависимости параметров автоколебаний тока позволило выявить ряд особенностей температурно-электрической неустойчивости тока в компенсированных образцах кремния легированного примесными атомами марганца, серы, цинка и селена.

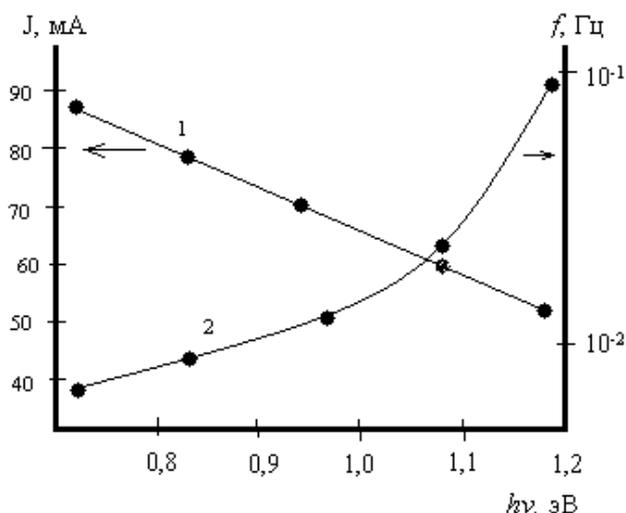


Рис. 1. Спектральные зависимости амплитуды (1) и частоты (2) автоколебаний тока для образца  $p$ - Si <Se>,  $\rho=9,3\cdot 10^4$  Ом·см при  $E=150$  В/см,  $T=80$  К,  $I_{hv}=1,3\cdot 10^{-6}$  Вт/см<sup>2</sup>·с.

Автоколебания тока в компенсированном кремнии возбуждались начиная с энергией падающих фотонов  $h\nu\geq 0,7$  эВ. В интервале энергии падающих фотонов  $h\nu=1,1\div 1,2$  эВ амплитуда автоколебаний слабо зависела от энергии падающих фотонов  $h\nu$ , при этом частота автоколебания тока резко увеличивалась (рис. 1) по экспоненциальному закону:

$$f = f_0 \exp(h\nu/E_0)$$

где:  $E_0=0,27$  эВ и  $f_0=4,2\cdot 10^{-4}$  Гц.

Следует отметить, что при этом форма автоколебаний тока практически не меняется.

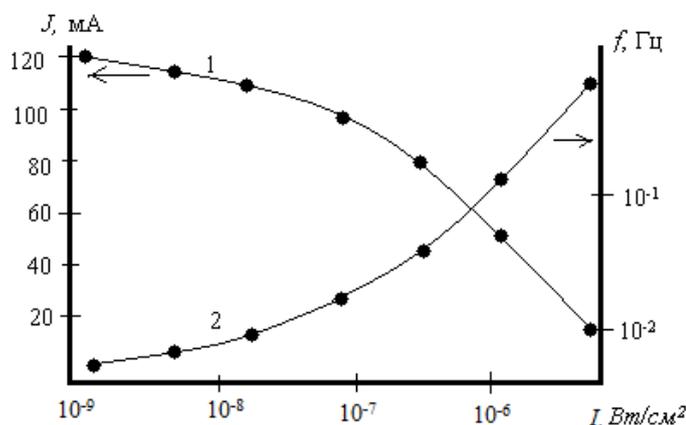


Рис. 2. Зависимости амплитуды (1) и частоты (2) автоколебаний тока в образцах Si<Se> от интенсивности монохроматического света при  $h\nu=1,18$  эВ и  $T=80$  К,  $E=150$  В/см, с  $\rho=9,3\cdot 10^4$  Ом·см.

Из результатов исследования установлено, что в отличие от автоколебания тока, обнаруженного в других полупроводниковых материалах, автоколебания тока в компенсированном кремнии обладают относительно большой амплитудой и возникают при достаточно низкой интенсивности монохроматического освещения (рис. 2).

Исследования показали, что пороговая интенсивность монохроматического света, при котором возбуждаются автоколебания тока практически не зависит от энергии падающих фотонов и составляет порядка  $\sim 10^{-9}$  Вт/см<sup>2</sup>. С ростом интенсивности монохроматического света амплитуда автоколебания монотонно убывает, при этом частота растет быстрее по закону

$$f=f_0 \exp(I/I_0)$$

и увеличивается на три порядка.

Наблюдаемые экспоненциальные зависимости частоты автоколебаний от энергии падающих фотонов и интенсивности монохроматического света качественно можно объяснить соответствующей зависимостью скорости переброса электрона из валентной зоны на глубокий уровень примесных атомов, что приводит к сужению временного интервала участка медленного нарастания величины тока. Согласно результатам исследований и существующей физике полупроводников сечения захвата электронов в компенсированном кремнии зависит от зарядового состояния примесных атомов, и они образуют в запрещенной зоне кремния глубокие заряженные энергетические уровни, которые связаны с природой примесных атомов. Такое заряженное состояние примесных атомов в кремнии приводит к образованию флуктуации дна зоны проводимости и потолка валентной зоны. Исследования спектральной зависимости фототока в образцах компенсированного кремния с примесными атомами марганца, серы, цинка и селена показали экспоненциальный рост его величины с увеличением энергии фотона в интервале  $h\nu=0,7\div 1,1$  эВ, что свидетельствует в пользу изложенного объяснения механизма автоколебаний тока в кремнии.

Из литературного анализа установлено, что в этом интервале энергии падающих фотонов находятся энергетические уровни связанных с дважды ионизированными состояниями примесных атомов марганца, серы, цинка и селена в кремнии. Таким образом, полученные результаты в компенсированном кремнии дают возможность определения ответственного уровня за возбуждения автоколебаний тока, что дает ценную информацию для объяснения механизма неустойчивости тока на основе модели неоднородности с флуктуациями зоны проводимости и валентной зоны компенсированного кремния.

### Литература

[1] Голик Л.Л., Гутман М.М., Паксеев В.Е. и др. Динамический хаос и гистерезис автоколебание в Si<Mn>, обусловленные температурно-электрической неустойчивостью. Физика и техника полупроводников, 1987, т. 21.

[2] Bakhodirxonov M.K., Zikrillayev N.F., Egamberdiev B.E. Self-sustained oscillation in compensated silicon// Radiotekhnika i Elektronika, 1988, 43(3), p. 300.