

## ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЗБЫТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ( $\Delta n$ ) ОТ ПЕРЕМЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ( $\epsilon$ ) В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Г. Гулямов, М. Г. Дадамирзаев

*Наманганский инженерно-педагогический институт,  
Наманган, Узбекистан*

Поступила в редакцию 30. 10. 2014

Показано влияние амплитуды и частоты деформации на площади фазовых траекторий в двумерном ( $n_e$ - $\epsilon$ ) пространстве. Размеры фазовых траекторий сильно зависят от амплитуды и частоты деформации приложенной к образцу. При уменьшении амплитуды деформации размеры фазовых траекторий уменьшаются как по высоте, так и по ширине. Вследствие этого изменяются концентрации электронов. При увеличении частоты деформации уменьшается фазовая траектория. Вследствие этого уменьшается изменение концентрации электронов.

**Ключевые слова:** переменная деформация, фазовый портрет, амплитуда, частота, концентрация избыточных электронов, генерация электронов.

## ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАДЛИШКОВИХ ЕЛЕКТРОНІВ ( $\Delta n$ ) ВІД ЗМІННОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ( $\epsilon$ ) У НАПІВПРОВІДНИКАХ

Г. Гулямов, М. Г. Дадамірзаєв

Показано вплив амплітуди і частоти деформації на площі фазових траєкторій у двовимірному ( $n_e$ - $\epsilon$ ) просторі. Розміри фазових траєкторій сильно залежать від амплітуди і частоти деформації прикладеної до зразка. При зменшенні амплітуди деформації розміри фазових траєкторій зменшуються як за висотою, так і за шириною. Внаслідок цього змінюються концентрації електронів. При збільшенні частоти деформації зменшується фазова траєкторія. Внаслідок цього зменшується змінювання концентрації електронів.

**Ключові слова:** змінна деформація, фазовий портрет, амплітуда, частота, концентрація надлишкових електронів, генерація електронів.

## THE DEPENDENCE OF THE CONCENTRATION OF EXCESS ELECTRONS ( $\Delta n$ ) FROM VARIABLE STRAIN ( $\epsilon$ ) IN SEMICONDUCTORS

G. Guliamov, M. G. Dadamirzaiev

Shows the influence of the amplitude and frequency of the strain on the area of the phase trajectories in the two-dimensional ( $n_e$ - $\epsilon$ ) space. The dimensions of the phase trajectory is strongly dependent on the amplitude and frequency of the strain applied to the sample. With decreasing strain amplitude dimensions of the phase trajectories is reduced both in height and width. Due to the change of the electron concentration. By increasing the frequency of deformation decreases the phase trajectory. Because of this change in the electron density decreases.

**Keywords:** variable deformation, phase portrait, amplitude, frequency, concentration of excess electrons, generating electrons.

### ВВЕДЕНИЕ

Переменная деформация полностью перестраивает энергетический спектр полупроводника. Вследствие того, начинаются переходные процессы, обусловленные термическими и излучательными переходами, которые существенно влияют на динамику деформационных эффектов в исследуемых материалах.

Целью настоящей работы является исследование зависимости избыточной концентрации электронов от переменной деформации.

### Расчеты зависимости изменения концентрации избыточных электронов ( $\Delta n$ ) от переменной деформации ( $\epsilon$ )

Рассмотрим отклик избыточной концентрации электронов  $n_e$  на переменную

деформацию  $\varepsilon(t)$ . Деформация может индуцировать генерацию электронов со скоростью  $g_e$ , кроме того, избыточные электроны могут поступать из другой области образца [1—3]. Возникновение гистерезисных явлений в переменных полях деформации в полупроводниках рассмотрены нами в работах [4, 5]. Также нами теоретически исследовано токи в компенсированном  $p$ -Si<Ni> под воздействием прямоугольного импульса гидростатического давления. Процесс возникновения и установления тока анализировался методом фазовых траекторий. Показано, что фазовые траектории могут быть рассмотрены как термодинамический круговой процесс. Эти термодинамические циклы деформационных эффектов в полупроводниках удобно изображать на фазовых портретах, которые образованы из совокупности разных изопроцессов [6].

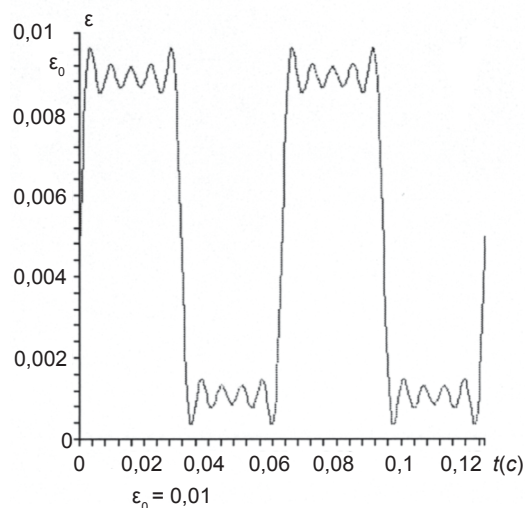
Скорость тепловой генерации имеет экспоненциальную зависимость от ширины запрещенной зоны и температуры решетки [2]. Тогда концентрация  $n_e$  может быть определена следующим уравнением:

$$n_e(t) = g_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \int_{-\infty}^t \left( e^{\frac{\Delta_{e-y}\varepsilon(t_0)}{kT}} - 1 \right) e^{\frac{t_0}{\tau}} dt_0.$$

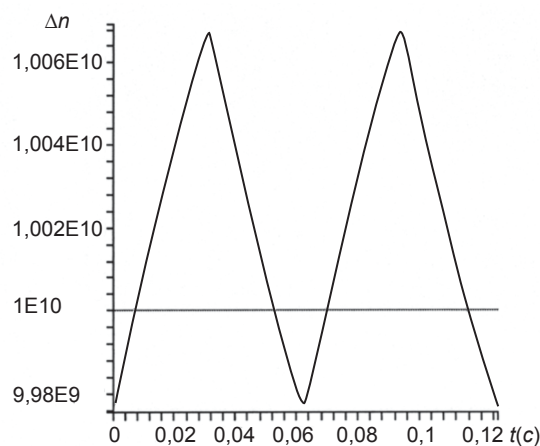
Из этого уравнения можно получить фазовую траекторию процесса на плоскости  $\Delta n$ - $\varepsilon$  или уравнение связывающее  $\Delta n$  и  $\varepsilon$ :  $f(\Delta n, \varepsilon) = 0$  [7]. Это уравнение позволяет описывать изменение концентрации носителей.

Отклик концентрации избыточных электронов на деформацию в случае  $\omega\tau = 1$  приведен в работе [7]. Возникновение гистерезисных явлений в переменных полях деформации в полупроводниках рассмотрены в работах [4—6]. Вид зависимости деформации от времени сильно влияет на «фазовый портрет» колебательного движения изменения концентрации электронов от деформации. Форма фазовой траектории сильно зависит от амплитуды и частоты деформации (рис. 1 и рис. 2; рис. 3 и рис. 4). При уменьшении периода импульсов, площадь петли фазовой траектории уменьшается (рис. 3 и рис. 4). Если уменьшить амплитуды,

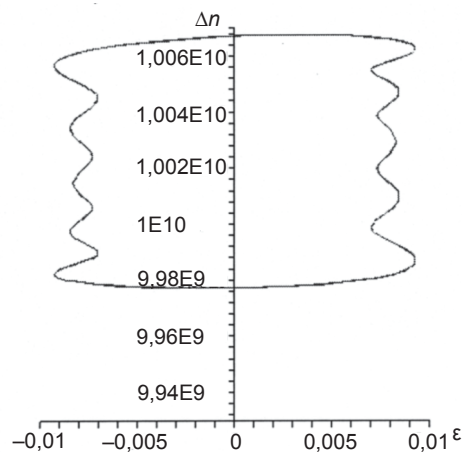
размеры петли уменьшается как по высоте, так и по ширине (рис. 1 и рис. 2).



a



б



в

Рис. 1. Зависимость деформации  $\varepsilon$  (а) и изменение концентрации избыточных электронов  $\Delta n$  (б) от времени и зависимость изменения концентрации электронов  $\Delta n$  от деформации (в) когда амплитуды  $\varepsilon_0 = 0,01$  прямоугольных импульсов

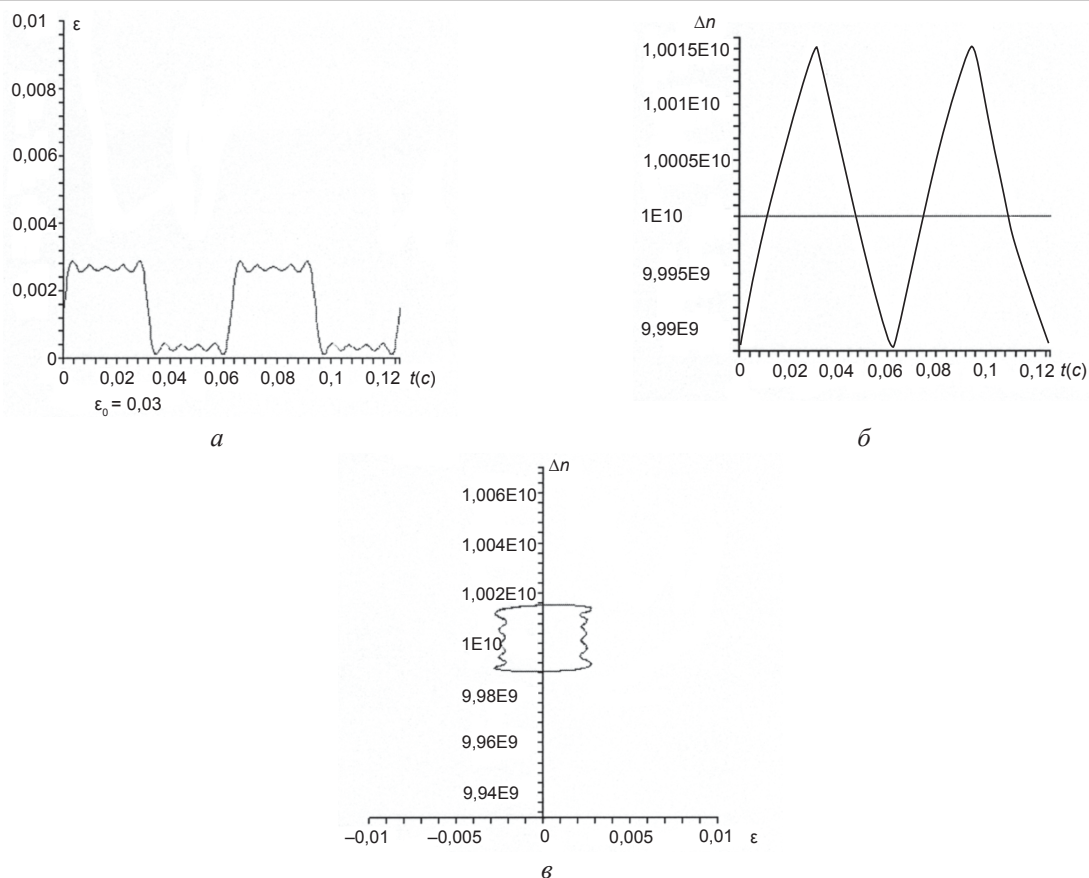


Рис. 2. Зависимость деформации  $\epsilon$  (а) и изменение концентрации избыточных электронов  $\Delta n$  (б) от времени и зависимость изменения концентрации электронов  $\Delta n$  от деформации (в) когда амплитуды  $\epsilon_0 = 0,003$  прямоугольных импульсов

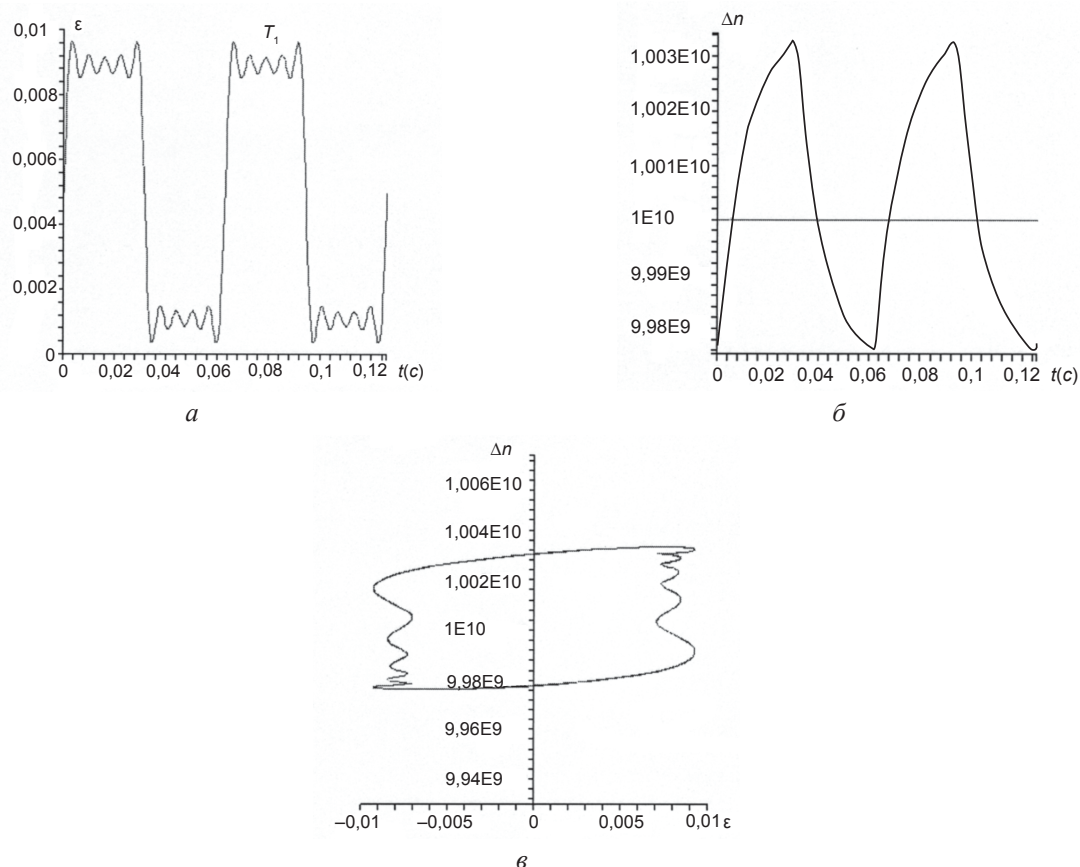


Рис. 3. Зависимость деформации  $\epsilon$  (а) и изменение концентрации избыточных электронов  $\Delta n$  (б) от времени и зависимость изменения концентрации электронов  $\Delta n$  от деформации (в) когда длительности  $T_1$  ( $\omega_1 = 100$ ) прямоугольных импульсов

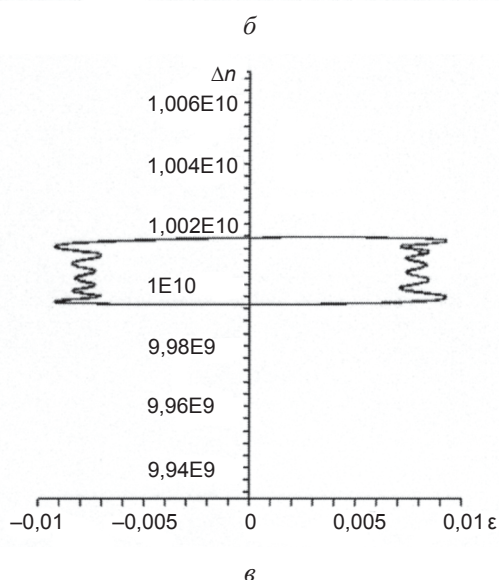
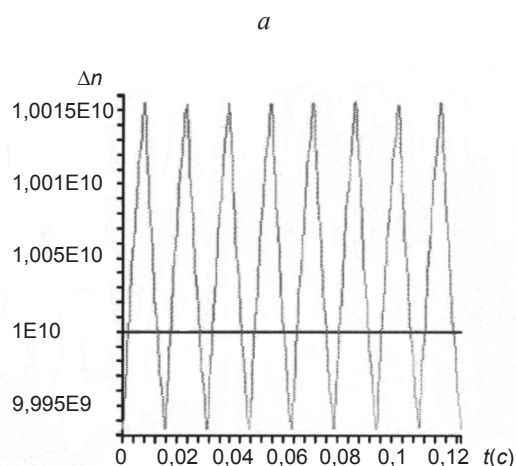
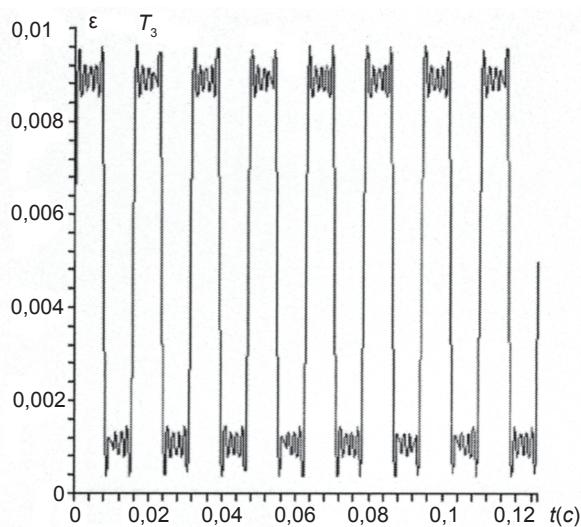


Рис. 4. Зависимость деформации  $\varepsilon$  (а) и изменение концентрации избыточных электронов  $\Delta n$  (б) от времени и зависимость изменения концентрации электронов  $\Delta n$  от деформации (в) когда длительности  $T_3$  ( $\omega_3 = 400$ ) прямоугольных импульсов

При низких частотах площадь гистерезисной петли увеличивается. Но такое

увеличение площади петли относится только к прямоугольному импульсу напряжений. Если форма импульса более гладкая, то с увеличением частоты колебания площадь петли может опять уменьшаться.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- размеры фазовых траекторий сильно зависят от амплитуды и частоты деформации к приложенному образцу;
- при уменьшении амплитуды деформации размеры фазовых траекторий уменьшаются как по высоте, так и по ширине, вследствие этого изменяется концентрация избыточных электронов;
- при увеличении частоты деформации фазовая траектория уменьшается, что приводит к уменьшению изменения концентрации избыточных электронов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бир Г. Л., Пикус Г. Е. Симметрии и деформационные эффекты в полупроводниках. — М.: Наука, 1972. — 584 с.
2. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. — М.: Мир, 1986. — 304 с.
3. Новик А., Берри Б. Релаксационные явления в кристаллах. — М.: Атомиздат, 1975. — 472 с.
4. Дадамирзаев М. Г., Гулямов А. Г. Влияние механической вибрации на сопротивление полупроводника // Вестник ТашИИТ. Ташкент. — 2007. — № 2. — С. 48—56.
5. Шамирзаев С. Х., Гулямов Г., Дадамирзаев М. Г., Шарипбаев Н. Ю., Гулямов А. Г. Фазовые портреты деформационных эффектов на тензо-чувствительных плёнках  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  // Физическая инженерия поверхности. — Украина. — 2011. — Т. 9, № 1. — С. 68—71.
6. Дадамирзаев М. Г., Гулямов А. Г. Фазовые портреты деформационных эффектов в полупроводниках в импульсном режиме // Физическая инженерия поверхности. — Украина. — 2012. — Т. 10, № 4. — С. 308—310.
7. Ahmetoglu M., Shamirzaev S. H., Gulyamov G., Dadamirzayev M., Gulyamov A. G., Aprailov N., Kocak F. Change in the resistance of the semiconductor in the variable deformation field // Rom. Journ. Phys. — Bucharest. — 2007. — Vol. 52. No 3—4. — P. 319—327.

## LITERATURA

1. Bir G. L., Pikus G. E. Simmetrii i deformatsionnye efekty v poluprovodnikah. — M.: Nauka, 1972. — 584 p.
2. Ridli B. Kvantovye processy v poluprovodnikah — M.: Mir, 1986. — 304 p.
3. Novik A., Berri B. Relaksacionnye yavleniya v kristallah. — M.: Atomizdat, 1975. — 472 p.
4. Dadamirzaev M. G., Gulyamov A. G. Vliyanie mehanicheskoy vibracii na soprotivleniye poluprovodnika // Vestnik TashIIT. Tashkent. — 2007. — No 2. — P. 48—56.
5. Shamirzaev C. H., Gulyamov G., Dadamirzaev M. G., Sharibaev N. Yu. Gulyamov A. G. Fazovye portrety deformatsionnyh effektov na tenzo-chuvstvitel'nyh plenkah  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  i  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. — Ukraina. — 2011. — Vol. 9, No 1. — P. 68—71.
6. Dadamirzaev M. G., Gulyamov A. G. Fazovye portrety deformatsionnyh effektov v poluprovodnikah v impul'snom rezhime // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. — Ukraina. — 2012. — Vol. 10, No 4. — P. 308—310.
7. Ahmetoglu M., Shamirzaev S. H., Gulyamov G., Dadamirzayev M., Gulyamov A. G., Aprailov N., Kocak F. Change in the resistance of the semiconductor in the variable deformation field // Rom. Journ. Phys. — Bucharest. — 2007. — Vol. 52. No 3—4. — P. 319—327.