

ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЁНКАХ Bi_2Te_3 И Sb_2Te_3

С.Х. Шамирзаев², Г. Гулямов¹, М.Г. Дадамирзаев^{1,2},
Н.Ю. Шарипбаев¹, А.Г. Гулямов¹

¹Наманганский инженерно-педагогический институт
Узбекистан

²Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан (Ташкент)
Узбекистан

Поступила в редакцию 28.03.2011

Исследовано влияние переменной деформации на сопротивление тензочувствительных пленок Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 . Получены фазовые траектории тензорезистивного эффекта на плоскости сопротивления деформации. Показано, что замкнутые фазовые траектории обусловлены электронными релаксационными процессами. Открытые фазовые траектории релаксационными процессами, обусловленные изменением параметров материала.

Ключевые слова: тензочувствительность, деформация, фазовые траектории, фазовый портрет, релаксация, сопротивление.

Досліджено вплив змінної деформації на опір тензочувливих плівок Bi_2Te_3 і Sb_2Te_3 . Отримано фазові траєкторії тензорезистивного ефекту на площині опору деформації. Показано, що замкнуті фазові траєкторії зумовлені електронними релаксаційними процесами, а відкриті фазові траєкторії-релаксаційними процесами та зміною параметрів матеріалу.

Ключові слова: тензочувливість, деформація, фазові траєкторії, фазовий портрет, релаксація, опори.

Influence of variable deformation on resistance tens sensitivity films Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 is investigated. Phase trajectories tens sensitivity effect on a plane of resistance deformation are received. It is shown, that the closed phase trajectories are caused electronic relaxation by processes, and open phase trajectories relaxation the processes, caused by change of parameters of a material.

Keywords: tens sensitivity, deformation, phase trajectories, a phase portrait, a relaxation, resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование динамики деформационных эффектов в полупроводниках имеет дополнительные преимущества по сравнению со статическими экспериментами. В частности, тензочувствительность полупроводника в динамическом режиме сильно отличается от тензочувствительности при статических деформациях [1 – 3]. Удобным методом теоретического и экспериментального исследования колебательных процессов является анализ фазовых портретов физических явлений [4, 5]. Однако метод фазовых траекторий не применялся до недавнего времени при исследовании динамики деформационных эффектов. Влияние переменной деформации на сопротивление собственного полупроводника рассмотрено в работе [6] где показано, что за счет инерционности генерационно-рекомбинационных процессов возникновения фазового сдвига между деформацией и измене-

нием концентрации носителей заряда в образце на плоскости концентрации-деформации возникает замкнутая или открытая фазовая траектория. Однако в этой работе отсутствуют сравнение теоретических результатов с экспериментом. Целью настоящей работы является исследование динамики деформационных эффектов в полупроводниках с помощью фазовых портретов и сравнение теоретических выводов с результатами экспериментов.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПЕРЕМЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ

При воздействии деформации изменение зонной структуры приводит к изменению концентрации носителей зарядов и перераспределению носителей зарядов между энергетическими долинами. Эти изменения в свою очередь приводит к изменению сопротивле-

ния образца. Если внешняя деформация переменная, то изменение сопротивления образца по времени происходит с некоторым отставанием от приложенного механического воздействия.

Рассмотрим отклик избыточной концентрации электронов n_e на переменную деформацию. Деформация может индуцировать генерацию электронов со скоростью g_e кроме того, избыточные электроны могут поступать из другой области образца. Концентрация n_e может быть определена уравнением непрерывности

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = g - \frac{n_e}{\tau} + \frac{1}{e} \nabla \bar{I}_n, \quad (1)$$

где \bar{I}_n – плотность тока электронов, τ – время жизни электронов. В однородном образце уравнение непрерывности имеет вид

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = g - \frac{n_e}{\tau}. \quad (2)$$

При этом причины изменения сопротивления могут быть самыми разнообразными. Скорость генерации $g(\varepsilon)$, обусловленная изменением ширины зоны или высоты барьера, относительно быстро приспосабливается к внешним давлениям, т.е. практически повторяет зависимость давления от времени. Однако концентрация неравновесных носителей зарядов определяется не мгновенным значением скорости генерации, а всеми предыдущими значениями $g(\varepsilon)$.

Исследование динамики деформационных эффектов особенно важно в тензочувствительных полупроводниковых плёнках Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 полученных при вакуумном напылении [7]. Для получения тензочувствительных пленок использовалась метод испарения теллуридов висмута-сурьмы с последующей конденсацией на полиимидные подложки. Температура подложек и уровень вакуума в испарительной камере подбирались так, чтобы обеспечить неравновесность, позволяющего добиться спонтанного зародышеобразования и недопустить роста и сформировавшихся частиц. Эти пленки имеют сложную зернистую структуру. Коэффициент тензочувствительности пленок K достигают очень больших значений ($K > 10^4$).

ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЕНОК

Измерения проводились при комнатной температуре, в темноте. Образцы тензочувствительных пленок Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 полученных при вакуумном напылении подвергались к воздействию циклической синусоидальной деформации с частотой 10 Гц. Амплитуда относительной деформации растяжения и сжатия составляла порядка 10^{-3} . Типичные экспериментальные данные приведены на рис. 1 и

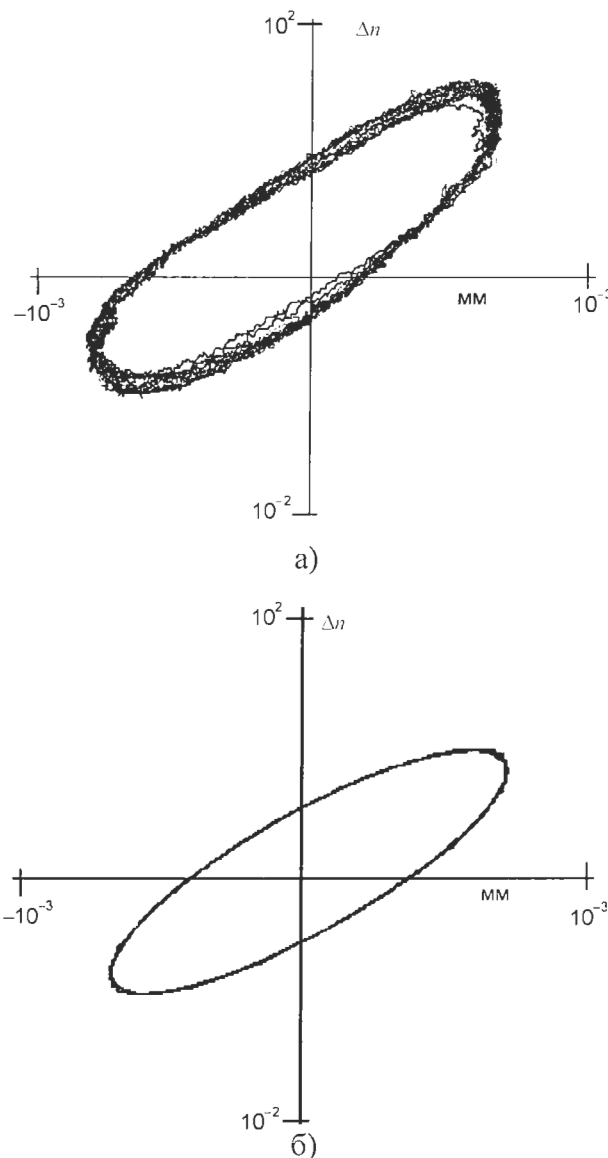


Рис. 1. Экспериментальные и теоретические фазовые портреты обусловленные только электронными процессами, тензочувствительных плёнок Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 (теория по оси ординат масштаб в относительных единицах). а) – фазовые портреты концентрация-деформация тензочувствительных плёнок Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 с увеличением числа циклов почти не меняются (эксперимент); б) – при вычислениях параметры полупроводника остаются постоянными (теория).

рис. 2. Из этих рисунков видно, что фазовые портреты для различных плёнок существенно различаются.

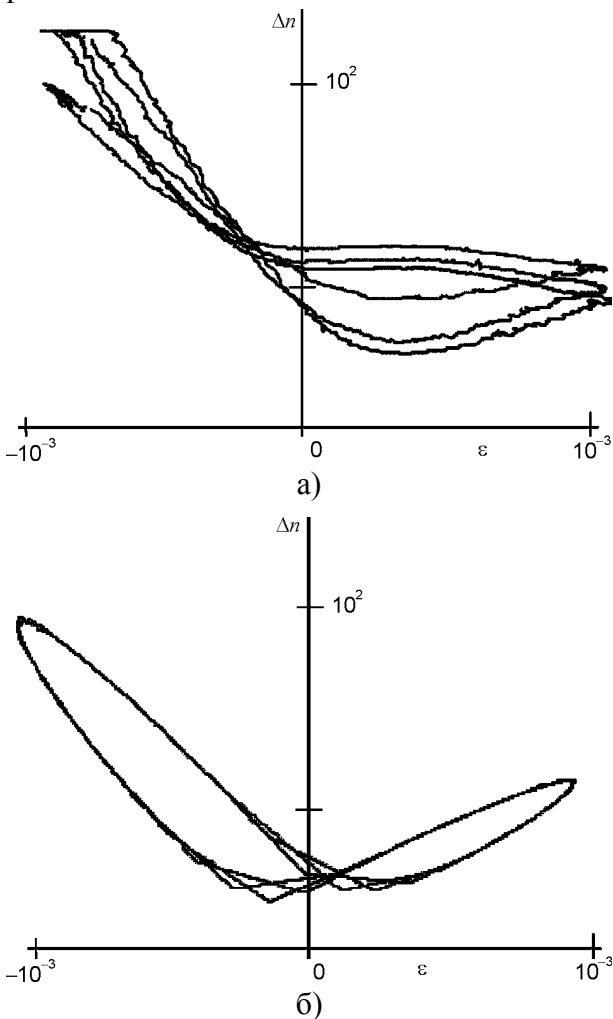


Рис. 2. Экспериментальные и теоретические фазовые портреты, где структурные изменения в кристаллической решетке тензочувствительных плёнок Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 (теория по оси ординат масштаб в относительных единицах). а) – фазовые портреты концентрация-деформация с увеличением числа циклов сильно меняют свою форму. Это свидетельствует о структурных изменениях в материале (эксперимент). б) – фазовые портреты при вычислениях параметры полупроводника зависят от времени (теория).

Для некоторых плёнок фазовые портреты при приложении циклических деформаций с увеличением числа циклов почти не менялись (рис. 1а). На наш взгляд это свидетельствует о том, что параметры плёнки с увеличением числа циклов остаётся постоянной, а изменение сопротивления в образце в пределах одного цикла обусловлено в основном электронными процессами. Для подтверждения этих соображений проведены теоретические расчёты фазового портрета, когда параметры

полупроводника не зависят от времени. Результаты расчёта приведены на рис. 1б. В этом случае действительно, фазовый портрет получается замкнутым и есть большое сходство эксперимента и теории, что является убедительным свидетельством в пользу электронных процессов в образцах.

В зависимости от условия получения, характеристики большинства плёнок получаются нестабильными. При воздействии переменной деформации происходит изменение параметров полупроводников. Эта нестабильность сильно проявляется на фазовых портретах этих плёнок. С увеличением числа деформационных циклов фазовые портреты могут перемещаться на фазовой плоскости $(\epsilon, \Delta n)$. На рис. 2 приведены типичные фазовые портреты таких плёнок. Такие изменения происходит, когда с увеличением числа циклических деформаций меняются параметры полупроводника. Это свидетельствует о существовании необратимых структурных изменениях в материале.

Типичные численные расчеты теоретической кривой фазовых траекторий с приведены в рис. 2а. Как видно из рисунка с увеличением числа циклов фазовые портреты перемещаются в фазовой плоскости сопротивлению деформация. На наш взгляд, такая нестабильность может быть вызвана структурными изменениями в исследуемых образцах. Для теоретического описания этих изменений можно предположить, что параметры плёнки зависят от времени воздействия переменной деформации или то же самое от числа циклов деформации. Используя эти предположение, были произведены расчёты фазовых портретов, учитывающие изменение параметров с увеличением числа циклов. На рис. 2б. приведены результаты этих расчётов. Как видно из рис. 2 фазовый портрет в этом случае со временем меняется. При изменении параметров материала получается открытые фазовые траектории. Появление открытых фазовых траекторий свидетельствует об изменениях параметров материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании динамики деформационных эффектов можно считать, что быстрые процессы обусловлены электронным процес-

сами, а медленные с изменениями в кристаллической решетке. Структурные изменения кристаллической решетки должны давать срыв в фазовой траектории в плоскости сопротивления деформация и при периодическом повторении механического воздействия фазовая траектория превратится в незамкнутую винтовую линию (рис. 2). На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Существование гистерезисной петли в плоскости сопротивление-деформация (R - ϵ) обусловлено релаксационными процессами в образце.

Замкнутая релаксационная петля на R - ϵ плоскости обусловлена только электронными процессами и изменение в кристаллической решетке не происходит.

Открытая незамкнутая винтовая траектория на R - ϵ плоскости обусловлена необратимыми изменениями характеристик кристаллической решетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О., Абдураимов А. Динамические тензохарактеристики диодов с барьером Шоттки при импульсном гидростатическом давлении//ФТП. – 2000. – Т. 34, Вып. 1. – С. 67-70.
2. Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О. Влияние внешних воздействий на поведение примеси золота в кремнии//ФТП. – 2000. – Т. 34, Вып. 6. – С. 641-644.
3. Маматкаримов О.О., Хамидов Р.Х. Тензорезистивный эффект в кремнии//Письма в ЖТФ. – 2003. – Вып. 3. – С. 24-28.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981. – 565 с.
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1983.

6. Ahmetoglu M., Shamirzaev S.H., Gulyamov G., Dadamirzayev M., Gulyamov A.G. Change in the resistance of the semiconductor in the variable deformation field//Rom. Journ. Phys. – 2007. – Vol. 52, No 3-4. – P. 319-327.
7. Шамирзаев С.Х., Юсупова Д.А., Мухамедиев Э.Д., Онаркулов К.Э. Определение эффективной плотности электронных поверхностных состояний в нанокристаллических пленках Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 //ФИП. – 2006. – Т. 4, № 1-2. – С. 86-90.

LITERATURA

1. Zaynabidinov S.Z., Mamatkarimov O.O., Abduraimov A. Dinamicheskiye tenzokarakteristiki diodov s baryerom Shottki pri impulsnom gidrostaticheskom davlenii//FTP. – 2000. – Т. 34, Вып. 1. – С. 67-70.
2. Zaynabidinov S.Z., Mamatkarimov O.O. Vliyaniye vneshnikh vozdeystviy na povedeniye primesi zolota v kremnii//FTP. – 2000. – Т. 34, Вып. 6. – С. 641-644.
3. Mamatkarimov O.O., Khamidov R.Kh. Tenzorezistivnyy effekt v kremnii//Pisma v ZhTF. – 2003. – Вып. 3. – С. 24-28.
4. Andronov A.A., Vitt A.A., Khaykin S.E. Teoriya kolebaniy. – М.: Nauka, 1981. – 565 s.
5. Bogolyubov N.N., Mitropolskiy Yu.A. Asimptoticheskiye metody teorii nelineynykh kolebaniy. – М.: Nauka, 1983.
6. Ahmetoglu M., Shamirzaev S.H., Gulyamov G., Dadamirzayev M., Gulyamov A.G. Change in the resistance of the semiconductor in the variable deformation field//Rom. Journ. Phys. – 2007. – Vol. 52, No 3-4. – P. 319-327.
7. Shamirzayev S.Kh., Yusupova D.A., Mukhamediyeu E.D., Onarkulov K.E. Opredeleniye effektivnoy plotnosti elektronnykh poverkhnostnykh sostoyaniy v nanokrystallicheskih plenkakh Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3 //FIP. – 2006. – Т. 4, № 1-2. – С. 86-90.