

ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

М.Г. Дадамирзаев^{1,2}, А.Г. Гулямов¹

¹Наманганский инженерно-педагогический институт
Узбекистан

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

Поступила в редакцию 03.10.2012

Исследовано токи в компенсированном p -Si<Ni> под воздействием прямоугольного импульса гидростатического давления. Процесс возникновения и установления 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.

Ключевые слова: тензорезистивный эффект, фазовый портрет, релаксация сопротивления, тензочувствительность в импульсном режиме.

Досліджено струми в компенсованому p -Si<Ni> під впливом прямокутного імпульсу гідростатичного тиску. Процес виникнення та встановлення аналізувався методом фазових траєкторій. Показано, що фазові траєкторії можуть бути розглянуті як термодинамічний круговий процес. Ці термодинамічні цикли деформаційних ефектів у напівпровідниках зручно зображувати на фазових портретах, які створені із сукупності різних ізопроцесів.

Ключові слова: тензорезистивний ефект, фазовий портрет, релаксація опору, тензочутливість в імпульсному режимі.

Investigated currents in compensated p -Si <Ni> exposed rectangular pulse of hydrostatic pressure. The process of establishing and studied by the method of phase trajectories. It is shown that the phase trajectories can be considered as a thermodynamic cyclic process. These thermodynamic cycles of deformation effects in semiconductors is convenient to represent the phase portrait that education of the totality of izoprotsessov.

Keywords: thin-film effect, the phase portrait, relaxation resistance tensorsensitivity in pulsed mode.

ВВЕДЕНИЕ

Исследовано влияние деформации на сопротивление кремния с глубокими уровнями в импульсном режиме, показано, что тензочувствительность в динамическом режиме больше чем в статическом режиме [1 – 3].

В работе [4] теоретически исследовано влияние переменной деформации на неравновесную концентрацию электронов с помощью метода фазовых траекторий. Показано, что метод фазовых траекторий дает дополнительную информацию об электронных процессах и структурных изменениях в полупроводнике.

Целью настоящей работы является исследование фазовых портретов тензорезистивного эффекта в образцах кремния с глубокими уровнями.

ФАЗОВЫЕ ПОРТРЕТЫ РЕЛАКСАЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Проанализируем влияния переменной деформации на сопротивление образцов кремния, легированных примесями с глубокими уровнями [1 – 3]. В работе [3] исследовано влияние импульса гидростатического давления (ВГД), при температуре 293 К, на токи через образец p -Si<Ni> при приложении постоянного напряжения. Скорость изменения давления на фронте прямоугольного импульса составляет $dP/dt = 10^8$ Па/с (рис. 1).

Процесс изменения тока состоит из двух этапов - быстрого этапа роста тока от J_0 до J_{max} обусловленного резким увеличением давления от P_0 до P и медленного – постепенным уменьшением тока от J_{max} до J_{st} при постоянном давлении P . Далее, после медленного

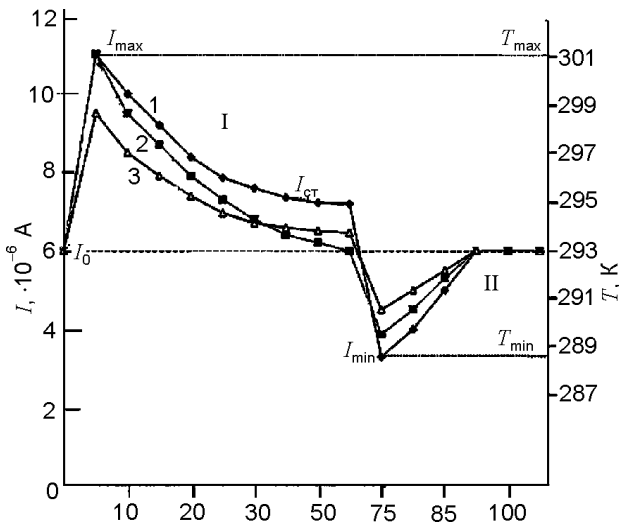


Рис. 1. Зависимости тока от времени $I = f(t)$ в сильно компенсированных образцах $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$ при воздействии импульса (I) и после снятия (II) всестороннего давления со скоростью $dP/dt = 10^8$ Па/с при $T = 273$ К. 1 – $P = 5 \cdot 10^8$ Па, 2 – $P = 2,5 \cdot 10^8$ Па, 3 – изменение температуры при $P = 5 \cdot 10^8$ Па [3].

этапа ток остается постоянным до тех пор пока давление резко не падает до своего первоначального значения. При резком снятии напряжения деформации значение тока резко падает от J_{st} до J_{min} – это второй быстрый этап, в дальнейшем, последует второй медленный этап – ток медленно растет до своего первоначального значения J_0 .

Используя временную зависимость тока J и давления P от времени t получим фазовый портрет процесса изменения тока в плоскости давление-ток. Когда скорости нарастания и падения давления, приложенного к образцу, достаточно малы, быстрые этапы установления тока можно считать изотермическими, а медленные этапы изобарическими.

В этом случае круговой процесс состоит из двух изобар и из двух изотерм. Критерием малости скорости нарастания давления является то, что время нарастания импульса $t(0)$ должно быть больше времени тепловой релаксации образца τ_m ($\tau_p < \tau_m$).

На рис. 2 приведены фазовые портреты процесса возникновения и релаксации избыточного тока на образце $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$ на фазовой плоскости ток-давление ($J\text{-}P$) при приложении прямоугольного импульса давления. Пользуясь экспериментальными данными рис. 1 можно построить фазовый портрет процесса тензорезистивного эффекта в фазовой плос-

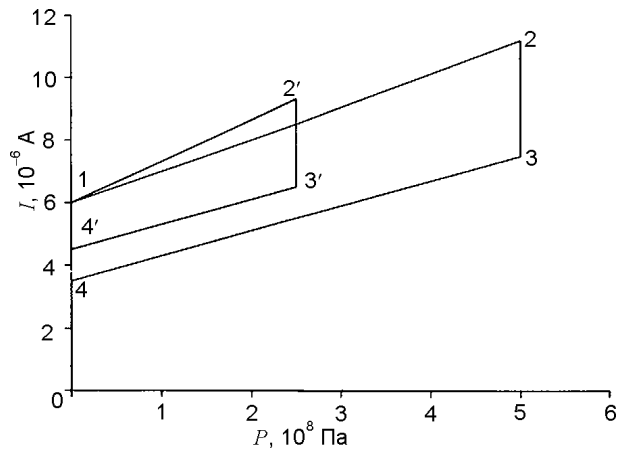


Рис. 2. Фазовый портрет кругового процесса изменения тока на фазовой плоскости ток-давление в сильно компенсированных образцах $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$ при воздействии импульса и после снятия всестороннего давления со скоростью $dP/dt = 10^8$ Па/с при $T = 293$ К. Амплитуда импульса давления 1234 – $P = 5 \cdot 10^8$ Па, 12'3'4' – $P = 2,5 \cdot 10^8$ Па.

кости сопротивление-давление $R\text{-}P$ (рис. 3). На рис. 3 круговой цикл состоит из двух адиабат (отрезки 1 – 2 и 3 – 4 на рис. 3) и из двух изобар (отрезки 2 – 3, 4 – 1 на рис. 3).

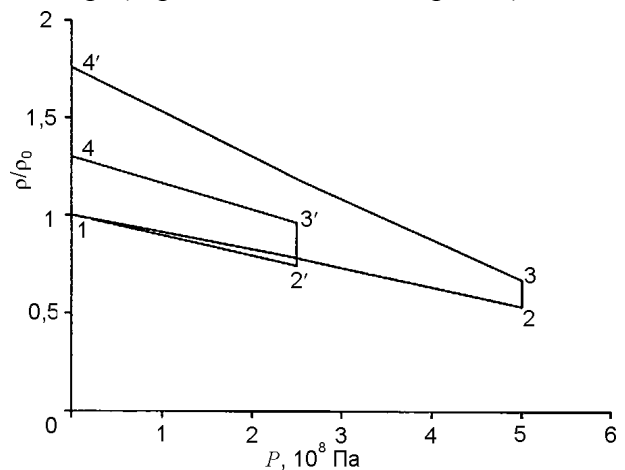


Рис. 3. Фазовый портрет кругового процесса изменения сопротивления R на фазовой плоскости сопротивление-давление $R\text{-}P$ в сильно компенсированных образцах $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$ при воздействии импульса всестороннего давления со скоростью $dP/dt = 10^8$ Па/с при $T = 293$ К. Длительность импульса давления 60 с. Амплитуда импульса давления 1234 – $P = 5 \cdot 10^8$ Па, 12'3'4' – $P = 2,5 \cdot 10^8$ Па.

Когда скорости нарастания и падения давления достаточно большие, быстрые этапы установления тока можно считать адиабатическими, а медленные этапы изобарическими. В этом случае можно предположить, что круговой процесс состоит из двух адиабат (отрезки 1 – 2 и 3 – 4 на рис. 2) и из двух изобар (отрезки 2 – 3, 4 – 1 на рис. 2).

Сравним результаты экспериментов с теоретическими исследованиями. В работе [4] приведены фазовые портреты процесса изменения концентрации собственных носителей зарядов при приложении переменной деформации на фазовой плоскости деформация-концентрация. В этой работе показано, что фазовые портреты изотермического процесса воздействия деформации на концентрацию неравновесных носителей зарядов имеют прямоугольную форму.

Однако, из рис. 2 и рис. 3 видно, что экспериментальный фазовый портрет процесса воздействия деформации на изменение тока в сильно компенсированных образцах p -Si<Ni> имеет некоторое отклонение от прямоугольной формы. На опыте получается не прямоугольник, а некоторая, своего рода трапеция. Чем же можно объяснить такое отклонение эксперимента от теории? По-видимому, это отклонение можно объяснить следующим образом. При теоретическом рассмотрении [4] изменение концентрации носителей зарядов пренебрегалось изменением температур, считая его постоянным. В эксперименте [3] при воздействии импульса давления, как видно из рис. 1, температура не постоянна, и изменяется в диапазоне от 289 до 301 градусов по шкале Кельвина. Это изменение вызывает дополнительную термогенерацию носителей, и, приводит к уменьшению или увеличению сопротивления образца на различных этапах процесса. Результатом этих изменений и является отклонение фазовых портретов от прямоугольной формы.

В общем случае процесс возникновения и установления дополнительного тока при воздействии переменной деформации можно рассмотреть как термодинамический круговой процесс [5]. Эти термодинамические циклические процессы деформационных эффектов в полупроводниках удобно изображать на фазовых плоскостях ток-давление j - P , ток деформация j - ϵ , температура-давление T - P , температура-деформация T - ϵ , сопротивление-давление R - P , сопротивление-деформация R - ϵ , которые могут быть рассмотрены как замкнутые кривые, образованные из совокупности разных изопроцессов.

На рис. 4 изображено фазовый портрет релаксационного процесса изменения температуры при воздействии импульса давления на фазовой плоскости температура-давление T - P . Здесь (1 - 2), (3 - 4) – отрезки адиабатического процесса, (2 - 3), (4 - 1) – отрезки изобарического процесса. Цикл состоит из двух адиабат и двух изобар. Отрезки (1 - 2), (3 - 4) – изображают быстрые этапы, а (2 - 3), (4 - 1) – медленные этапы.

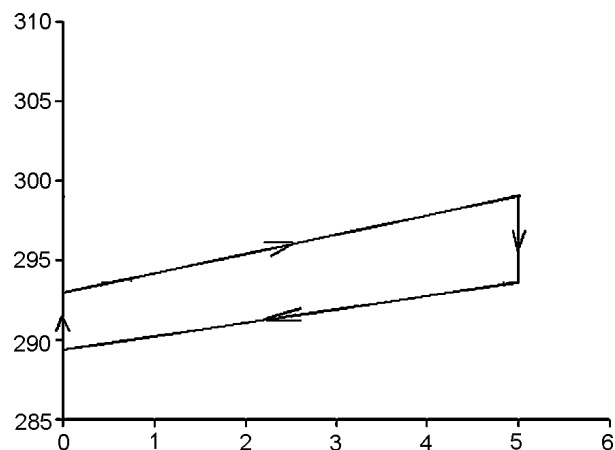


Рис. 4. Фазовый портрет тензорезистивного изменения температуры с давлением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование деформационных эффектов методом фазовых портретов дают наиболее полную информацию о колебательном процессе, и позволяет одним взглядом увидеть весь физический процесс. Все основные преимущества использования метода фазовых портретов должны обнаружиться также при анализе влияния переменной деформации на физические свойства различных полупроводниковых материалов.

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. 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.
5. Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1991. – 378 с.
2. Zajnabidinov S.Z., Mamatkarimov O.O. Vliyanie vneshnih vozdeystvij na povedenie primesi zolota v kremnii//FTP. – 2000. – Т. 34, Вып. 6. – S. 641-644.
3. Mamatkarimov O.O., Hamidov R.H. Tenzorezistivnyj effekt v kremnii//Pisma v ZhTF. – 2003. – Вып. 3. – S. 24-28.
4. 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.
5. Bazarov I.P. Termodinamika. – М.: Vysshaya shkola, 1991. – 378 s.

LITERATURA

1. Zajnabidinov S.Z., Mamatkarimov O.O., Abduraimov A. Dinamicheskie tenzoharakteristiki diodov s barerom Shottki pri impulsnom gidrostaticheskom davlenii//FTP. – 2000. – Т. 34, Вып. 1. – S. 67-70.