

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭФФЕКТ ЭКРАНИРОВАНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ n-Si С РАДИАЦИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

С.В. Лунёв, П.Ф. Назарчук, О.В. Бурбан, Л.А. Косынецъ
Луцкий национальный технический университет
43018, Украина, Луцк, ул. Львовская 75,
e-mail: luniovser@mail.ru

Исследовано пьезо-холл-эффект и пьезосопротивление монокристаллов n-Si для случая $X|J|[[111]]$ при разных температурах и дозах облучения. Качественный анализ соответствующих зависимостей показывает, что единственной причиной увеличения дрейфовой подвижности электронов с давлением выше 0,2 ГПа может быть только уменьшение радиуса экранирования из-за увеличения эффективной массы электронов. Данный эффект сильнее проявляется при низких температурах, когда роль междолинного рассеяния еще незначительна. Также само по себе уменьшение температуры ведет к уменьшению радиуса экранирования, что объясняет поведение кривых пьезосопротивления.

На всех этапах развития физики твердого тела в прошлом и начале нынешнего столетия большое внимание уделялось исследованиям радиационных дефектов в полупроводниках. Интерес к процессам взаимодействия ионизирующих излучений с веществом стимулируется не только чисто прагматическими соображениями, но и имеет колоссальный теоретический аспект. Другими словами, исследование дефектов кристаллической решетки и установление связи между ними и физическими свойствами кристаллов имеет большое научное и практическое значение. С этой точки зрения самые значительные успехи были достигнуты при исследованиях природы радиационных дефектов в кремнии [1] и германии.

Радиационные дефекты в Ge и Si есть, как правило, центрами сильной локализации электронов и дырок, создающими глубокие энергетические уровни в запрещенной зоне полупроводника. Свойства таких центров всецело зависят от их микроструктуры (нужно отметить, и это подтверждает подробный анализ литературных данных, что проблемам идентификации радиационных дефектов, детальному установлению их микроструктур уделялось большое внимание белорусскими учеными под руководством проф. В. Д. Ткачева). Поэтому, использование материала с известным проявлением его свойств, определяемых природой целенаправленно введенных несовершенств, при внешних воздействиях позволяет упрощать во многих случаях решение поставленных задач.

Именно такой логикой руководствовались мы при исследовании влияния внешних деформационных воздействий на эффект экранирования носителей тока. Известно [2], что радиус экранирования в самом общем случае находится как

$$R_0^2 = \frac{h^3 \varepsilon}{16\pi^2 e^2 (m^*)^3 (2kT)^{\frac{1}{2}} \Phi_{-\frac{1}{2}}(E_F^*)} \quad (1)$$

где m^* - эффективная масса плотности состояний,

$$\Phi_{-\frac{1}{2}}(E_F^*) - \text{интеграл Ферми индекса } -\frac{1}{2}.$$

В отсутствие вырождения радиус экранирования вычисляется по известной формуле [3]

$$R_0^{-2} = \frac{4\pi^2 e_0^2 n}{\varepsilon_0 kT}, \quad (2)$$

где

$$n = n_e + (n_e + N_A)[1 - ((n_e + N_A)/N_D)]. \quad (3)$$

Здесь n_e - концентрация электронов в зоне проводимости, N_D и N_A - концентрация доноров и акцепторов. Анализ приведенных формул показывает, что радиус экранирования по-разному зависит от таких параметров как температура, эффективная масса носителей тока, концентрация носителей тока в зоне и степени компенсации N_A/N_D . На каждый из этих параметров, кроме температуры, можно влиять одноосным механическим напряжением.

Для решения поставленной задачи использовались монокристаллы n-Si, выращенные по методу Чохральского, с концентрацией кислорода $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и исходной примеси сурьмы $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и фосфора $1,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, что давало возможность в широких пределах варьировать дозами облучения, температурами и величиной одноосных упругих напряжений. Гамма - облучение материала позволяло вводить компенсирующие дефекты (А-центры) с известной микроструктурой и симметрии C_{2v} . А-центр характеризуется выделенной осью $\langle 100 \rangle$, механическое воздействие вдоль которой вызывает наибольшую из всех возможных реакцию уровня $E_c - 0,17$ эВ. Деформирование же материала вдоль кристаллографического направления $\langle 111 \rangle$, т.е. в условиях симметричного расположения оси деформации к выделенной оси дефекта и, кроме того, к главным осям эллипсоидов зоны проводимости n-Si, не только не вызывает перераспределения электронов между ними, но и минимально влияет на реакцию внутренних связей А-центра. Именно эти два обстоятельства

позволяют исследовать влияние на эффект экранирования деформационных изменений компоненты тензора эффективной массы m_{\perp} [4].

На рис. 1, 2 представлены экспериментальные зависимости пьезо-холл-эффекта и эффекта пьезосопротивления при разных температурах и дозах облучения. Качественный анализ этих зависимостей показывает, что единственной причиной увеличения дрейфовой подвижности электронов с давлением выше 0,2 ГПа может быть только уменьшение радиуса экранирования из-за увеличения эффективной массы электронов и, поэтому, увеличения плотности состояний в s-зоне. В полном соответствии с формулами (2) и (3) и объясняется поведение кривых 1-3 на рис. 2, т.е. уменьшение температуры ведет к уменьшению радиуса экранирования. Так же данный эффект сильнее проявляется при низких температурах, когда роль междолинного рассеяния еще незначительна.

На полученное увеличение подвижности носителей тока нужно обратить особое внимание, поскольку при разработке современных приборов микроэлектроники все усилия направлены на любое увеличение подвижности за счет уменьшения именно эффективной массы носителей [5].

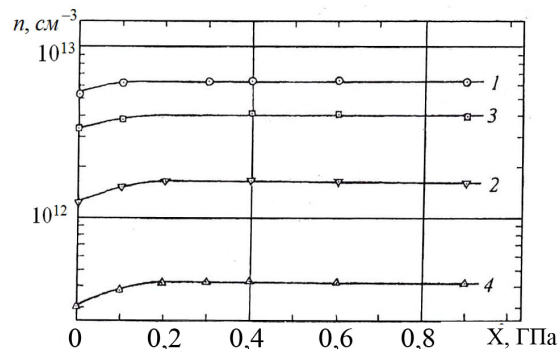


Рис. 1. Зависимости $n = f(X)$ для случая $X \parallel J \parallel [111]$ при разных температурах (Т) и дозах γ -облучения (Φ) n-Si с $N_D = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$
Т, К: 1 - 150, 2 - 130, 3 - 147, 4 - 126;
 $\Phi \cdot 10^{-17} \text{ кв/см}^2$: 1, 2 - 1,3; 3, 4 - 1,8

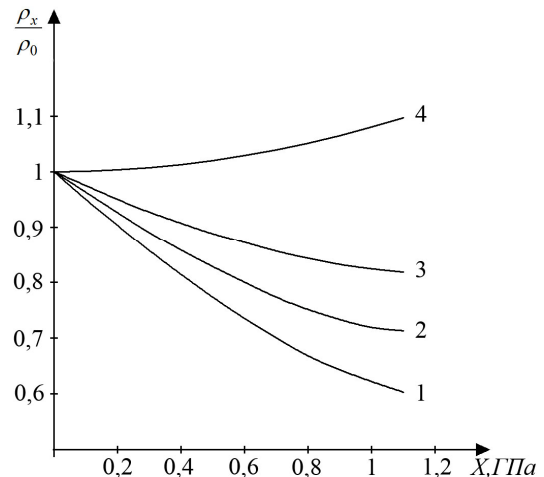


Рис. 2. Зависимости $\rho_x/\rho_0 = f(X)$ после γ -облучения дозой $\Phi = 3,8 \cdot 10^{17} \text{ кв/см}^2$ n-Si с $N_D = 1,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ для случая $X \parallel J \parallel [111]$ при разных температурах Т, К: 1 - 77; 2 - 130; 3 - 150; 4 - исходный n-Si до облучения при $T=77 \text{ К}$

Список литературы

1. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. - М.: Мир, 1984 - 475с.
2. Луньов С.В., Назарчук П.Ф., Панасюк Л.И., Бурбан О.В. Вплив інверсії (L1- Δ 1) типу абсолютного мінімуму в n-Ge на ефект екранування. - Сенсорна електроніка і мікросистемні технології, - 2012. - Т. 3(9), №2. - С. 69 - 73.
3. Баранский П.И., Буда И.С., Даховский И.В., Коломоец В.В. Электрические и гальваномагнитные явления в анизотропных полупроводниках. - Киев: Наукова думка, 1977. - 269 с.
4. Горін А.Є., Громова Г.В., Єрмаков В.М., Козутюк П.П., Коломоєць В.В., Назарчук П.Ф., Панасюк Л.І., Федосов С.А. Кремнієві р-МОН та n-МОН транзистори з одночасно деформованими каналами у нанотехнології електронних приладів // Український фізичний журнал. - 2011. - Т. 56, № 9. - С.920 - 925.
5. Пономарев Д.С., Василевский И.С., Галиев Б.Б. и др. Подвижность и эффективная масса электронов в составных квантовых ямах InGaAs с нановставками InAs и GaAs // ФТП. - 2012. - Т.46, № 4. - С. 500 - 506.

INFLUENCE OF DEFORMATION ON SCREENING EFFECT IN SINGLE CRYSTAL n-Si WITH RADIATION DEFECTS

Petro Nazarchuk, Sergii Luniov, Olexandr Burban, Larisa Kosynets

Lutsk National Technical University, 43018, Ukraine, Lutsk, Lvivska st 75, e-mail: e-mail: luniovser@mail.ru

The piezo-hall effect and piezoresistivity n-Si single crystals at different temperatures and radiation doses for the case $X \parallel J \parallel [111]$ are investigated. Qualitative analysis of the relevant relations shows that the increase of the drift mobility of the electrons at pressure above 0,2 GPa is only result of decrease the screening radius due to the increase of the effective mass of electrons. This effect is more significant at low temperatures, when the inter-valley scattering is still insignificant. Also, decrease of temperature leads to a decrease in the screening radius, which explains the behavior of the curves with increasing temperature piezoresistive measurements. Need to pay special attention on increase the mobility of the charge carriers, since the development of modern microelectronic devices require any increase of mobility is due to the decrease of the effective mass of carriers.