

Таким образом, энергетический спектр квазичастиц имеет щель $2|\lambda|$, которая могла бы проявиться в поглощении слабого звука частоты Ω . В частности, следует ожидать, что такое поглощение будет носить пороговый характер, обращаясь в нуль при $\Omega < 2|\lambda|$.

Из (8) видно, что при заданном значении q величина энергетической щели определяется численным значением q_{\perp} (т. е. зависит от угла между вектором \mathbf{q} и осью Oz), и при $q_{\perp}=0$ щель исчезает.

Отметим, наконец, что при $\xi(p_z)=0$ (точный резонанс) вероятность перехода

$$|a_1(p_z, t)|^2 = \sin^2\left(\frac{|\lambda|t}{\hbar}\right). \quad (13)$$

Когерентность взаимодействия электронов со звуком проявляется при условии $|\lambda|t/\hbar \gg 1$ (τ^{-1} — частота столкновений электронов).

Сделаем численные оценки. При $W=1$ Вт/см², $\rho=5$ г/см³, $v_s=10^5$ см/с, $\kappa=1$, $q_x=10^6$ см⁻¹, $\Delta=10$ эВ получаем $|\lambda|=3\cdot 10^{-4}$ эВ. Таким образом, когерентность взаимодействия электронов со звуком может проявиться при $t \gg 10^{-11}$ с, что вполне реально.

Благодарю Ф. Г. Басса за интерес к работе и обсуждение результата.

Список литературы

- [1] Басс Ф. Г., Булгаков А. А., Тетервов А. П. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М., 1989. 288 с.
- [2] Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М., 1989. 240 с.
- [3] Луцкий В. Н., Каганов М. И., Шик А. Я. // ЖЭТФ. 1987. Т. 92. В. 2. С. 721—729.
- [4] Басс Ф. Г., Конотоп В. В., Панчева А. П. // ЖЭТФ. 1989. Т. 96. В. 5 (11). С. 1869—1879.
- [5] Мильняков Г. В., Соколов И. М. // ФТТ. 1989. Т. 31. В. 7. С. 244—246.
- [6] Галицкий В. М., Елесин В. Ф. Резонансное взаимодействие электромагнитных полей с полупроводниками. М., 1986. 192 с.

Волгоградский государственный
педагогический институт
им. А. С. Серафимовича

Получено 1.06.1990
Принято к печати 6.07.1990

ФТП, том 24, вып. 11, 1990

ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИОНИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТА С УРОВНЕМ $E_c-0.2$ эВ В n -Si ПРИ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Семенюк А. К., Назарчук П. Ф.

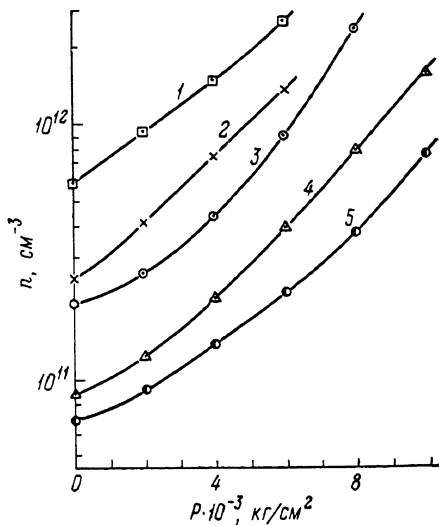
Деформационные эффекты в полупроводниках непосредственно связаны со структурой энергетического спектра носителей тока и давно используются для изучения этого спектра [1]. Исследование поведения глубоких центров (в том числе и радиационного происхождения) под действием деформации может дать важные сведения о характере связи локальных электронных состояний этих центров с ближайшими энергетическими зонами, указать на степень деформации внутренних связей в решетке и на симметрию дефектов. В предыдущих работах [2, 3] нами изучена анизотропия тензоэффектов, связанных с глубокими уровнями, принадлежащими примесям и радиационным дефектам в германии и кремнии. Здесь представлены результаты подобного исследования радиационного дефекта с уровнем $E_c-0.2$ эВ в n -Si.

Использовались кристаллы n -Si, полученные методом бестигельной зонной плавки (БЗП) с концентрацией кислорода $\sim 10^{16}$ см⁻³ и легированные фосфором до концентрации $\sim 5\cdot 10^{13}$ см⁻³. Облучение γ -квантами ⁶⁰Со выполнялось при комнатной температуре интенсивностью потока $3.2\cdot 10^{12}$ γ -кв/см²·с. Измере-

ния проводимости и продольного пьезо-холло-эффекта при давлениях до 10^4 кг/см² проводились в температурном интервале 77—300 К на образцах, вырезанных вдоль главных кристаллографических направлений [111], [110] и [100]. После облучения кристаллов потоками $\sim 4 \cdot 10^{17}$ γ-кв/см² на температурных зависимостях концентрации носителей тока $n=f(10^3/T)$ четко проявлялся энергетический уровень с глубиной залегания 0.2 эВ ниже дна зоны проводимости ($E_c - 0.2$ эВ). Определение концентрации носителей тока из пьезо-холловских измерений проводилось с использованием температурной зависимости холл-фактора для n -Si.

Величина изменения энергетического зазора между исследуемым глубоким уровнем $E_c - 0.2$ эВ и нижними долинами зоны проводимости, вычисленная, как это описано в работе [2], для случая $P \parallel J \parallel [100]$, составляет $1.15 \cdot 10^{-3}$ эВ на каждые 10^3 кг/см². Следует отметить, что зависимости $\lg n=f(P)$ линейны во всем исследованном интервале давлений. Похожие зависимости получены и для кристаллографического направления [111]. Значение величины изменения энергетического зазора для случая $P \parallel J \parallel [111]$ равно $2.34 \cdot 10^{-3}$ эВ на каждые 10^3 кг/см².

На рисунке показаны зависимости $\lg n=f(P)$ для направления [110] при



Зависимости $n=f(P)$ γ-облученного n -кремния (БЗП) для случая $P \parallel J \parallel [110]$ при различных температурах T и дозах облучения Φ .

$T, K: 1 - 146, 2 - 138, 3 - 112, 4 - 131, 5 - 129.$
 $\Phi \cdot 10^{-17}, \gamma\text{-кв/см}^2: 1, 2, 4 - 5.3; 3 - 1.6; 5 - 3.7.$

разных температурах и соответствующих дозах γ-облучения образцов. Видно, что полученные зависимости не линейны во всем исследованном интервале прикладываемых механических напряжений. Если при начальных давлениях величина изменения энергетического зазора составляет $1.75 \cdot 10^{-3}$ эВ на 10^3 кг/см², то при напряжениях $(6 \div 10) \cdot 10^3$ кг/см² она отличается почти в 2 раза и составляет $3.3 \cdot 10^{-3}$ эВ на 10^3 кг/см². Этот факт требует дополнительного изучения, если учесть, что изменение энергетического положения долин во всех случаях обычно считается линейным по отношению к давлению.

Принимая во внимание предположение о смещении долин в n -Si [3], а также учитывая результаты работы [4], находим величину и направление сдвига самого уровня $E_c - 0.2$ эВ в n -Si: $4.85 \cdot 10^{-3}$ эВ на 10^3 кг/см² вниз по шкале энергий для $P \parallel J \parallel [100]$ и $(0.25 \div 1.8) \cdot 10^{-3}$ эВ на 10^3 кг/см² вверх по шкале энергий для $P \parallel J \parallel [110]$.

Относительно природы радиационного дефекта с уровнем $E_c - 0.2$ эВ в настоящее время имеются разногласия [5, 6]. Из представленных здесь результатов следует, что этот центр имеет особенности и анизотропен в направлении [110].

Список литературы

- [1] Бир Г. Л., Пикус Г. Е. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. М., 1972. 640 с.
- [2] Семенюк А. К., Назарчук П. Ф. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 3. С. 540—542.
- [3] Семенюк А. К., Назарчук П. Ф. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 7. С. 1334—1333.
- [4] Тарасик М. И., Шварков Д. С., Янченко А. М. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 1. С. 97—100.
- [5] Берман Л. С., Воронков В. Б., Ременюк А. Д., Толстобров М. Г. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 1. С. 140—144.
- [6] Svenson B. G., Willander M. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 7. P. 2758—2762.