

СТРУКТУРНАЯ СЕТКА $a\text{-Si:H}$, ЛЕГИРОВАННОГО БОРОМ, И ТРАНСПОРТ ДЫРОК

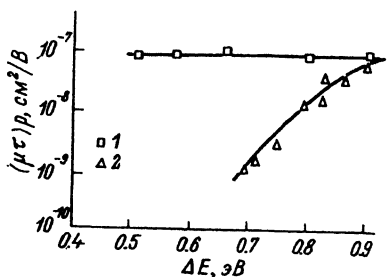
Голикова О. А., Мездрогина М. М., Соколов А. П., Шебанин А. П.

Как известно, для «собственного» $a\text{-Si:H}$ ($\epsilon_c - \epsilon_F \simeq E_g/2$) $(\mu\tau)_p \simeq (\mu\tau)_n$ (произведение подвижности на время жизни дырок и электронов), а при сдвигах уровня Ферми ϵ_F в сторону края s -зоны ϵ_c $(\mu\tau)_n$, определенное из стационарной фотопроводимости, сильно возрастает. В интервале изменения энергии активации электропроводности $\Delta E = (\epsilon_c - \epsilon_F)_{T=0} = 1.0 - 0.5$ эВ $(\mu\tau)_n$ образцов n -типа возрастает примерно на 4 порядка. Это объясняется влиянием перезарядки $D^0 \rightarrow D^-$ (нейтральная и отрицательно заряженная оторванные связи) [1].

Совершенно другая картина наблюдается для $(\mu\tau)_p$ образцов $a\text{-Si:H}$, легированных бором, как из газовой фазы, так и ионной имплантацией [2]. На рис. 1 представлены зависимости $(\mu\tau)_p$ от ΔE , откуда следует, что при легировании из газовой фазы $(\mu\tau)_p$ постоянно, а при легировании ионной имплантацией — падает с увеличением степени легирования (уменьшением ΔE). В то же время по аналогии с $(\mu\tau)_n$ следовало бы ожидать возрастания $(\mu\tau)_p$ за счет перезарядки $D^0 \rightarrow D^+$ (D^+ — положительно заряженная оборванная связь).

В данной работе сделана попытка определить связь $(\mu\tau)_p$ с некоторыми характеристиками структурной сетки $a\text{-Si:H}$. Информацию о них получали, во-первых, на основании спектров комбинационного рассеяния (КРС). Как известно [3], величина отношения амплитуд TA - и TO -полос спектра КРС характеризует степень структурной неупорядоченности на уровне $\geq 4-6$ Å, т. е. средний порядок, а $\Delta\omega_{TO}$ — полуширина TO -полосы — дисперсию углов Si—Si-связей, т. е. ближний порядок. Что касается длин связей Si—Si, то информацию об их изменениях дают сдвиги TO -полосы ω_{TO} [4].

Кроме данных о КРС, рассматриваются также данные о концентрации оборванных Si—Si-связей N_D , полученные на основании результатов исследования дефектного поглощения методом постоянного фототока (СРМ) [2], и данные о содержании водорода в пленках (H, %) и наличии в структурной сетке мостиковых связей В—Н—В, полученные из ИК спектров поглощения (полосы 2000 и 1975 cm^{-1} соответственно).



Перечисленные характеристики структурной сетки $a\text{-Si:H}$, а также величины оптической запрещенной зоны E_g и характеристической энергии Урбаха E_u будут рассмотрены в зависимости от степени легирования ΔE при легировании двумя вышеуказанными методами.

Рис. 1. Зависимость величины $(\mu\tau)_p$ от ΔE для пленок $a\text{-Si:H}$, легированных бором методом ионной имплантации и из газовой фазы.

1 — из газовой фазы, 2 — ионной имплантацией.

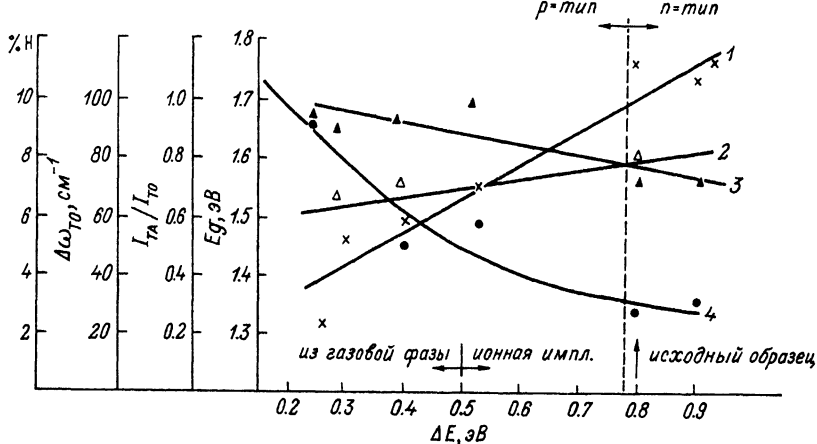


Рис. 2. E_g (1), N , % (2), $\Delta\omega_{TO}$ (3), I_{TA}/I_{TO} (4) в зависимости от степени легирования ΔE при легировании из газовой фазы и ионной имплантацией.

На рис. 2 представлены I_{TA}/I_{TO} , $\Delta\omega_{TO}$, а также E_g и N , % для $a\text{-Si}:\text{H}\langle B \rangle$, полученного как ионной имплантацией, так и из газовой фазы. Характерно, что изменение метода легирования на зависимостях этих величин от степени легирования не проявляется: данные, полученные при разных методах легирования, друг друга дополняют. Следует отметить также, что изменения I_{TA}/I_{TO} значительно больше, чем изменения $\Delta\omega_{TO}$. Что касается сдвигов ω_{TO} , то они для исследуемых образцов вообще не наблюдались. Таким образом, как следует из данных о КРС, при легировании бором основные изменения претерпевает средний порядок, что, как и в случае нелегированного $a\text{-Si}:\text{H}$ при N , % = var, существенно влияет на величину E_g [3]. Тем не менее влияние бора противоположно влиянию водорода: во втором случае за счет уменьшения раз-упорядочения структуры E_g возрастает [3].

Если изменения E_g в основном можно отнести за счет изменений среднего порядка, то в отношении $(\mu\tau)_p$ (рис. 1) сказать это нельзя. Данные, приведенные на рис. 2, не могут объяснить различий в поведении $(\mu\tau)_p$ и $(\mu\tau)_n$ в зависимости от степени легирования, как и различий $(\mu\tau)_p$ при разных способах легирования.

Отметим, что изменение способа легирования влияет на содержание мостиковых В—Н—В-связей в структурной сетке $a\text{-Si}:\text{H}$. Так, величина коэффициента поглощения при 1975 см^{-1} для ионно-имплантированных образцов $\alpha = (40 + 50)\text{ см}^{-1}$, а для образцов, легированных из газовой фазы, $\alpha = (170 + 250)\text{ см}^{-1}$. В то же время не наблюдается зависимости α от дозы имплантации D при изменении D от 10^{12} до 10^{15} см^{-2} , поэтому данные о $(\mu\tau)_p$ (рис. 1) не коррелируют и с содержанием мостиковых связей в структурной сетке $a\text{-Si}:\text{H}$.

Из рис. 3 видно, что для слабо легированных бором образцов N_D мало зависит от способа легирования, что уже отмечалось в [2] и соответствует данным о $(\mu\tau)_p$ (рис. 1). Очевидно,

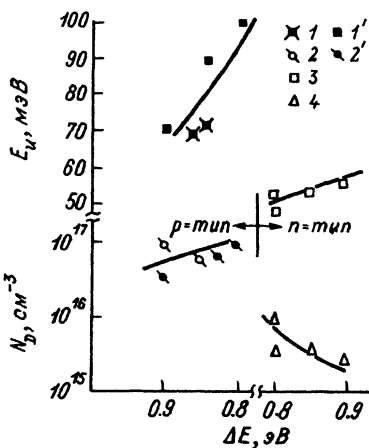


Рис. 3. Характеристическая энергия Урбаха (1, 1', 3) и концентрация дефектов (2, 2', 4) для $a\text{-Si}:\text{H}$ p - и n -типа.

1, 2, 1', 2' — p -тип (1, 2 — ионно имплантированные образцы и 1', 2' — легированные из газовой фазы), 3, 4 — n -тип.

что информация о N_D сильно легированных образцов методом СРМ получена быть не может, и поэтому нельзя сопоставлять с N_D различия $(\mu\tau)_p$ при изменении способа легирования. Что касается величин N_D для образцов p - и n -типа при равных ΔE (рис. 3), то в первом случае они примерно на порядок выше, чем во втором. Образцы p -типа отличаются и более высокими E_g (рис. 3), поэтому можно заключить, что для образцов p -типа плотность локализованных состояний выше, причем не только в центральной области щели подвижности, но и в области хвоста v -зоны, чем для образцов n -типа. Полученные данные, однако, еще не достаточны для объяснения отличий зависимостей $(\mu\tau)_p$ и $(\mu\tau)_n$ от ΔE , отмеченных выше.

Авторы благодарят В. Х. Кудоярову за предоставление данных ИК спектроскопии пленок $\alpha\text{-Si} : \text{H} \langle \text{B} \rangle$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Голикова О. А., Бабаходжаев У. С., Казанин М. М., Мездрогина М. М., Арлаускас К., Юшка Г. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 7. С. 1190—1193.
- [2] Голикова О. А., Бабаходжаев У. С., Дубро В. В., Казанин М. М., Мездрогина М. М., Яфаев Р. Р. // ФТП. 1992. Т. 26. В. 1. С. 66—70.
- [3] Соколов А. П., Шебанин А. П. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 6. С. 1138—1140.
- [4] Golikova O. A., Grekhov A. M. // Phys. St. Sol. 1989. V. B155. P. 475—479.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Получено 26.12.1991

Принято к печати 28.12.1991