

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПЕНСИРОВАННЫХ ПЛЕНОК α -Si:H, СОДЕРЖАЩИХ БОР И ФТОР

© И.А.Курова, О.Н.Мирошник, Н.Н.Ормонт

Московский государственный университет,

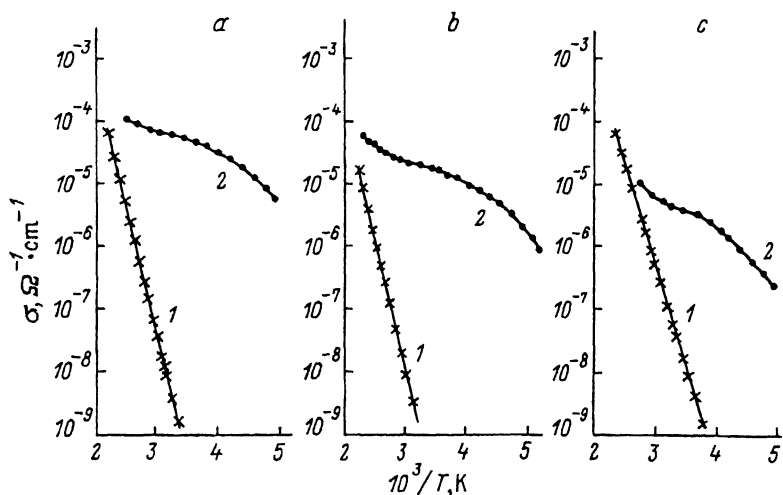
119899 Москва, Россия

(Получена 9 марта 1995 г. Принята к печати 23 октября 1995 г.)

Исследовано влияние высокотемпературного отжига на темновую проводимость и фотопроводимость пленок α -Si:H, содержащих одновременно донорную (P) и акцепторную (B) примеси.

Известен ряд работ по исследованию влияния высокотемпературного отжига ($600^\circ\text{C} > T_a > 300^\circ\text{C}$) на электрические, фотоэлектрические и оптические свойства пленок α -Si:H [1-3]. В этих работах в основном исследовались нелегированные пленки α -Si:H. Было показано, что с увеличением температуры отжига T_a темновая проводимость, σ_d , и фотопроводимость, σ_p , пленок уменьшается, уровень Ферми сдвигается к валентной зоне, увеличивается концентрация дефектов и уменьшается ширина запрещенной зоны. Эти изменения связаны с эффузией водорода и образованием оборванных связей кремния. В [4] показано, что могут наблюдаться два пика скорости эффузии: первый пик при $T'_a = 360^\circ\text{C}$ связан с эффузией слабо связанного водорода из SiH₂- и (SiH₂)n-связей. Пик при $T''_a = 550^\circ\text{C}$ связан с эффузией сильно связанного в SiH-связях водорода. Значения T'_a и T''_a зависят от структуры пленки, наличия примесей и могут изменяться [5]. В [6] установлено, что в нелегированных пленках, выращенных при низких температурах подложки $T_s < 100^\circ\text{C}$, темновая проводимость после высокотемпературного отжига увеличивается. Авторы предполагают, что это связано с упорядочением структуры пленки.

Отожженные легированные пленки α -Si:H исследовались в [1,7]. В [1] измерялись темновая проводимость и фотопроводимость легированной фосфором пленки α -Si:H, подвергнутой высокотемпературному отжигу. Как и в нелегированной пленке, σ_d и σ_p уменьшались при увеличении T_a . В [7] проведено исследование влияния высокотемпературного отжига на σ_d и σ_p пленок α -Si:H, легированных бором. Было



Температурные зависимости темновой проводимости (1) и фотопроводимости (2) компенсированных пленок: контрольной (а), отожженных при 350 °С (b) и 500 °С (с).

установлено, что отжиг при $T_a < 400$ °С увеличивает σ_d и σ_p с повышением T_a (соответственно в 100 и 2 раза при комнатной температуре). Это увеличение σ_d и σ_p при отжиге объяснялось возрастанием концентрации электрически активных атомов бора в результате структурной перестройки при эффузии водорода.

В последнее время внимания исследователей привлекают компенсированные (содержащие донорную и акцепторную примеси) пленки α -Si:H. В них наблюдаются явления (например, остаточная проводимость [8]), природа которых не ясна.

В настоящей работе исследовалось влияние высокотемпературного отжига на темновую проводимость и фотопроводимость компенсированных пленок α -Si:H, содержащих бор и фосфор. Пленки толщиной 1 мкм были выращены методом осаждения в плазме высокочастотного тлеющего разряда при температуре подложки $T_s = 300$ °С. Концентрации примесей, определенные методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS), составляли $N_B = 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $N_P = 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Отжиг пленок проводился в вакууме $< 10^{-5}$ мм рт.ст. в течение 5 мин при температурах $300 \text{ °С} < T_a < 500 \text{ °С}$. Контакты из Al напылялись после отжига и обеспечивали линейную вольт-амперную характеристику.

На рисунке показаны температурные зависимости темновой проводимости, σ_d , и фотопроводимости, σ_p , для трех пленок: контрольной и отожженных при 310 и 500 °С. Видно, что величина σ_d и ее энергия активации, E_σ , немонотонно изменяются с T_a : после отжига при 350 °С σ_d уменьшилась и E_σ увеличилась, при дальнейшем увеличении $T_a > 350$ °С, напротив, σ_d увеличивается и E_σ уменьшается. Величина σ_p во всех отожженных пленках уменьшалась с увеличением T_a .

Был измерен знак термоэдс в исследованных пленках. Оказалось, что после отжига при 350 °С происходит смена типа проводимости — проводимость отожженных пленок становится дырочной. Таким образом, немонотонные изменения σ_d и E_σ обусловлены тем, что с увели-

чением T_a уровень Ферми монотонно движется к валентной зоне, при этом проводимость из электронной становится дырочной.

Компенсированные пленки — сложная система. Могут быть предложены различные модели, объясняющие движение уровня Ферми к валентной зоне после отжига. Нам представляется наиболее вероятной следующая: увеличение концентрации электрически активного бора вследствие структурной перестройки при эффузии водорода из комплекса SiH-связи с электрически неактивным бором. В результате этого процесса уровень Ферми сдвигается к валентной зоне и проводимость становится дырочной. Монотонное уменьшение фотопроводимости при этом указывает, возможно, на то, что увеличение степени легирования отожженных пленок бором сопровождается ростом концентрации оборванных связей кремния. Однако для более детального понимания этого процесса необходимы дальнейшие исследования, в том числе исследования распределения плотности локальных состояний в запрещенной зоне в отожженных пленках, структуры водородных связей и роли приповерхностного слоя в них.

Авторы выражают благодарность Л.А.Громадину за предоставление образцов, Н.В.Мелешко за проведение отжига пленок, И.П.Звягину и А.Г.Казанскому за полезные обсуждения результатов работы.

Список литературы

- [1] D.L. Stabler, S.I. Pankove. Appl. Phys. Lett., **37**, 609 (1980).
- [2] J.C. Chou, S.K. Hsiung, C.Y. Lu. J. Appl. Phys., **26**, 1971 (1987).
- [3] А.Г. Казанский, Е.П. Милевич. ФТП, **23**, 2027 (1989).
- [4] T. Sakka, K. Toyoda, M. Iwasak. Appl. Phys. Lett., **55**, 1068 (1989).
- [5] W. Bayer, H. Wagner. J. Physique, Colloque C4, **42**, 783 (1981).
- [6] S.H. Yang, Choachon Lee. Phil. Mag. B, **53**, N 4, 293 (1986).
- [7] И.А. Курова, А.И. Дупачева, Н.В. Мелешко, Э.В. Ларина. ФТП, **28**, 1092 (1994).
- [8] S.C. Agarwal, S. Guha. Phys. Rev. B, **32**, 8468 (1985).

Редактор В.В. Чалдышев

Influence of high temperature annealing on electrical and photoelectrical properties of compensated α -Si:H films containing boron and phosphorus.

I.A. Kurova, O.N. Miroshnik, N.N. Ormont

Moscow State University, Moscow 119899, Russia

We studied an influence of high temperature annealing on dark conductivity and photoconductivity in α -Si:H films which contain both donor (P) and acceptor (B) impurities.