

©1995 г.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ФОСФОРОМ НА ДИФФУЗИЮ ОЛОВА В ПЛЕНКАХ $a\text{-Si:H}$

Г.С.Куликов, К.Х.Ходжаев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 14 декабря 1994 г. Принята к печати 19 декабря 1994 г.)

Радиоактивным методом исследована диффузия олова в нелегированном и легированном фосфором аморфном гидрированном кремнии ($a\text{-Si:H}$) в интервале температур 350–500 °С. Установлено, что по мере увеличения степени легирования диффузия олова замедляется. Определены температурные зависимости коэффициента диффузии олова в нелегированном материале и легированном фосфором в концентрации $8 \cdot 10^{19}$, $3 \cdot 10^{20}$ и $8 \cdot 10^{20}$ см⁻³. По данным электропереноса олово мигрирует в виде положительных ионов с эффективным зарядом $\sim 0.5e$ (e — заряд электрона).

Олово входит в состав ИТО (indium-tin oxide) — материала, используемого в качестве прозрачного проводящего контактного слоя в полупроводниковых приборах на основе аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si:H}$) со структурами типа «стекло-ИТО-($p^+ - i - n^+$)—металл». Важной проблемой, возникающей при изготовлении таких структур, является деградация $p^+ - i$ -перехода [1,2], связанная, в частности, с диффузией олова в пленку $a\text{-Si:H}$, приводящей к изменению ее темновой проводимости и фотопроводимости [3]. Ранее нами исследовались диффузия и растворимость олова в пленках $a\text{-Si:H}$, легированных фосфором в концентрации $8 \cdot 10^{19}$ см⁻³ [4–6]. Настоящая работа посвящена исследованию влияния степени легирования фосфором на скорость диффузии олова в пленках $a\text{-Si:H}$. Исследовались как нелегированные пленки, так и пленки, легированные в процессе выращивания фосфором в концентрациях $3 \cdot 10^{20}$ и $8 \cdot 10^{20}$ см⁻³. Пленки толщиной до 1 мкм выращивались на кремниевых подложках при 290 °С путем разложения SiH_4 в плазме высокочастотного тлеющего разряда. Содержание водорода в пленках составляло ~ 13 ат%. Диффузионный отжиг проводился в интервале температур $T = 350 \div 500$ °С. Источником примеси олова служил напыленный в вакууме на поверхность пленки слой радиоактивного изотопа $^{119\text{m}}\text{Sn}$. После отжига пленки промывались в кипящей смеси $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$, а затем с них последовательно стравливались тонкие, 0.02 мкм, слои и при этом измерялось остаточное количество олова Q .

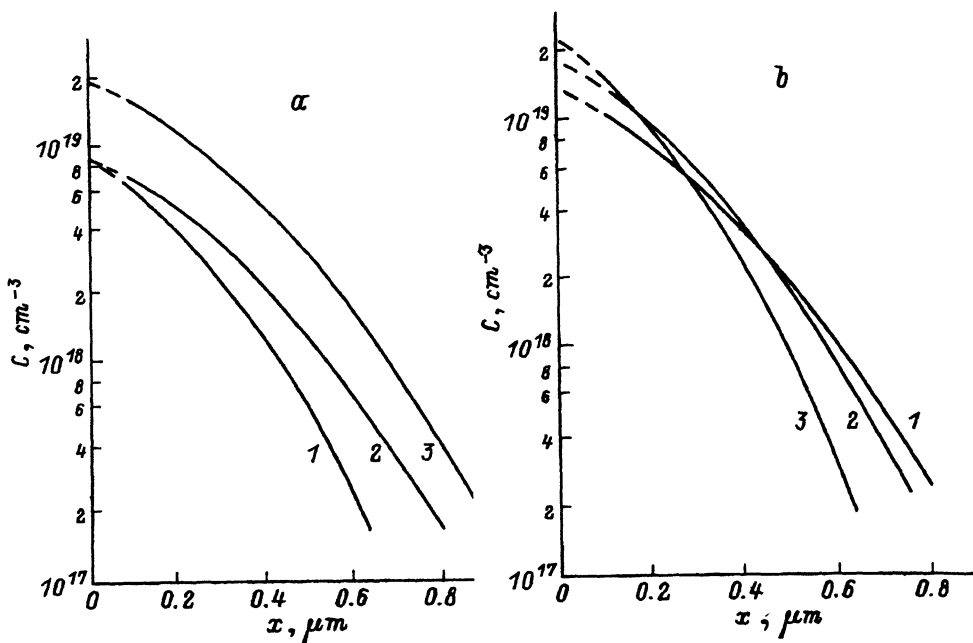


Рис. 1. Диффузионные профили олова в нелегированных (а) и в легированных (б) пленках $a\text{-Si:H}$. а — температура отжига T , °С: 1, 2 — 350, 3 — 400; время t , ч: 1 — 5, 2 — 7, 3 — 1. б — концентрация фосфора, см^{-3} : 1 — $8 \cdot 10^{19}$ [4], 2 — $3 \cdot 10^{20}$, 3 — $8 \cdot 10^{20}$. Температура отжига $T = 400$ °С, время $t = 2$ ч.

Диффузионные профили олова $C(x)$ определялись дифференцированием кривых $Q(x)$.

Как следует из результатов эксперимента, кривые остаточного количества олова $Q(x)$ могут быть удовлетворительно описаны функцией erfc , соответствующей диффузии из постоянного источника в полуограниченное тело (рис. 1, а и б).

Температурная зависимость коэффициента диффузии олова в нелегированных пленках следует соотношению $D[\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}] = 8 \cdot 10^{-4} \times \exp(-1.3/kT[\text{эВ}])$, а в легированных пленках — аналогичным соотношениям с предэкспоненциальными множителями $4.5 \cdot 10^{-4}$ [4], $2.6 \cdot 10^{-4}$ и $1.7 \cdot 10^{-4}$ для концентраций фосфора $8 \cdot 10^{19}$, $3 \cdot 10^{20}$ и $8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ соответственно (рис. 2).

Нетрудно видеть, что в то время как энергия активации диффузии олова не изменяется при легировании, предэкспоненциальный множитель уменьшается с увеличением степени легирования. Это можно объяснить в предположении, что олово диффундирует в аморфной сетке $a\text{-Si:H}$ по оборванным кремниевым связям, свободным от водорода. При этом в легированном материале диффузия олова будет замедляться, поскольку часть свободных от водорода связей будет занята атомами фосфора.

Нами изучался также электроперенос олова в нелегированных пленках $a\text{-Si:H}$. Слой радиоактивного изотопа $^{119\text{m}}\text{Sn}$ располагался между двумя пленками, к которым через металлические электроды прикладывалось постоянное напряжение. Электроперенос проводился при

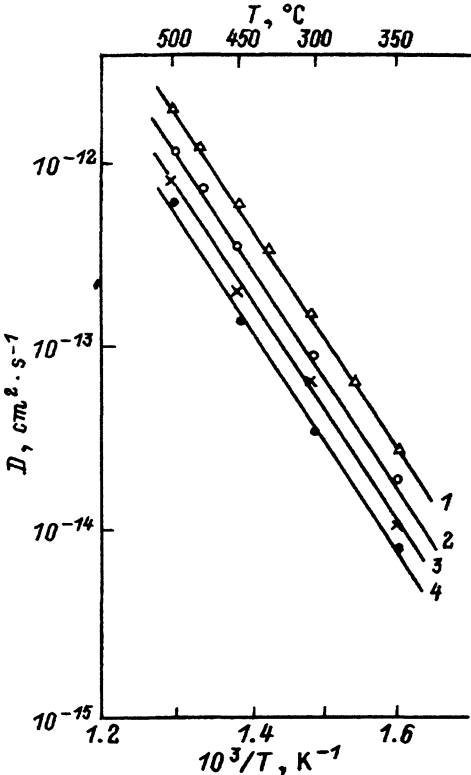


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента диффузии олова в нелегированных (1) и в легированных (2-4) пленках α -Si:H. Концентрация фосфора, см^{-3} : 2 — $8 \cdot 10^{19}$ [4], 3 — $3 \cdot 10^{20}$, 4 — $8 \cdot 10^{20}$.

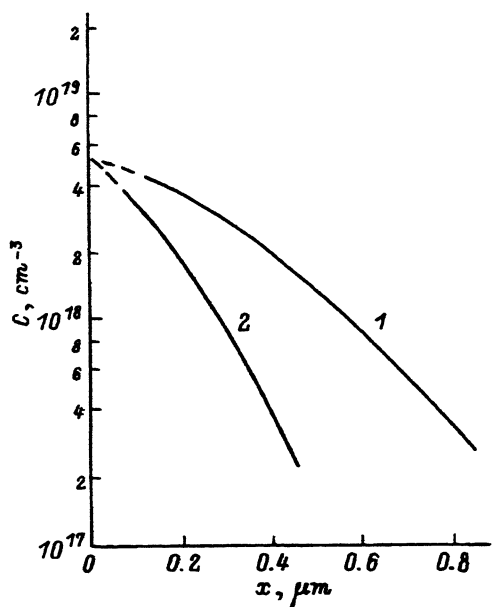


Рис. 3. Концентрационные профили олова в катодной (1) и анодной (2) пленках α -Si:H. Температура отжига $T = 450^\circ\text{C}$, время $t = 5$ мин.

350 и 450°C в течение 30 и 5 мин соответственно. Напряженность электрического поля составляла при этом $1.4 \cdot 10^4$ и $4.7 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$.

Как следует из полученных данных, олово мигрирует в электрическом поле преимущественно к катоду (рис. 3). Заряд ионов олова составляет при этом величину 0.46 и $0.51e$ (e — заряд электрона) для 350 и 450°C соответственно.

Список литературы

- [1] A. Maden, T.J. Mc-Mahon. *Solar Cells*, **13**, 265 (1985).
- [2] J. Tokada, M. Yamaguchi, N. Fukada et al. *Japan. J. Appl. Phys.*, **26**, 889 (1987).
- [3] М.С. Аблова, Г.С. Куликов, С.К. Першеев, К.Х. Ходжаев. *ФТП*, **24**, 1943 (1990).
- [4] К.Х. Ходжаев, К.П. Абдурахманов, Ю.Я. Амиров, В.А. Дидик, Г.С. Куликов, Е.И. Теруков, Д.П. Уткин-Эдин. *ФТП*, **19**, 1182 (1985).
- [5] К.Х. Ходжаев, К.П. Абдурахманов, Ю.Я. Амиров, Г.С. Куликов, Е.И. Теруков, Д.П. Уткин-Эдин. *ФТП*, **19**, 2219 (1985).
- [6] M.Kh. Kudoyarova, G.S. Kulikov, E.I. Terukov, K.Kh. Khodzhaev. *J. Non-Cryst. Sol.* **90**, 211 (1987).

Effect of phosphorus doping on tin diffusion in α -Si:H films

G.S. Kulikov, K.Kh. Khodjaev

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg
Russia
