

06;12

## Поликристаллические кремниевые пленки, легированные алюминием в процессе осаждения

© Д.В. Шенгуров

Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета

Поступило в Редакцию 10 января 1997 г.

Легированные алюминием пленки поликристаллического кремния были выращены методом молекулярно-лучевого осаждения при температуре подложки, лежащей в интервале от 540 до 600°C. Размер зерна увеличивается до 1–8 мкм с увеличением температуры подложки. Были измерены высокие значения холловской подвижности носителей заряда в диапазоне 30–90 см<sup>2</sup>/В · с.

Пленки поликристаллического кремния широко применяются при изготовлении тонкопленочных транзисторов [1], солнечных элементов [2], сенсоров [3], а также различных элементов интегральных схем [4]. Недостатком данного материала является наличие в нем границ зерен, из-за которых деградируют его электрические и оптические свойства. Увеличение размера зерна и пассивация границ зерен водородом приводит к уменьшению плотности ловушек на границах зерен и тем самым к улучшению качества приборов [5,6].

Среди различных методов получения поликристаллического кремния с большим размером зерна при низкой температуре ( $\leq 600^\circ\text{C}$ ) следует отметить метод осаждения пленок в аморфном состоянии с последующей кристаллизацией их с помощью длительного (несколько десятков часов) отжига при  $\sim 500^\circ\text{C}$  [7]. Однако такой процесс неэкономичен.

С другой стороны, известно, что кристалличность пленок, осажденных на подложках из стали [8] или плавленого кварца [9], значительно улучшается, когда кремний испаряют на подслое алюминия при температуре эвтектики Al–Si или около нее.

В настоящей работе исследовалось влияние соиспарения алюминия в процессе осаждения кремния из молекулярного пучка на получение

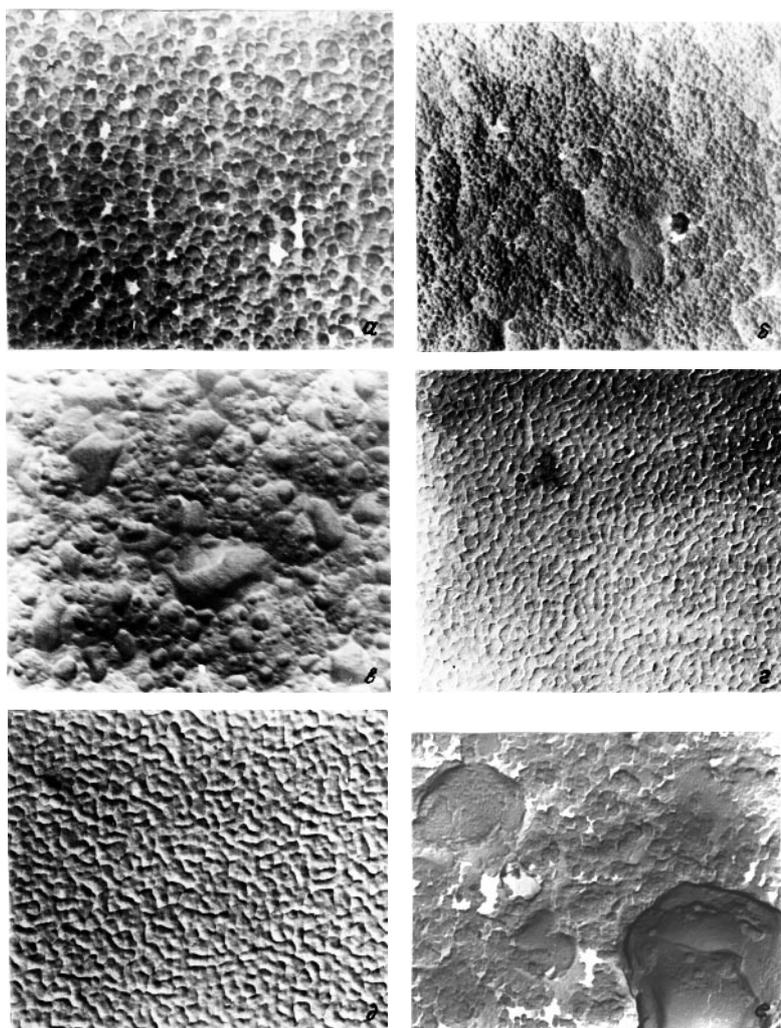
поликристаллического кремния с большим размером зерна и высокой подвижностью носителей заряда.

Поликремниевые пленки получали молекулярно-лучевым осаждением с использованием сублимирующего кремниевого источника, легированного алюминием по методике, описанной в [10]. Концентрация алюминия в источнике составляла  $\sim 9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . В качестве подложки использовались пластины кремния, покрытые слоем термически выращенного окисла толщиной  $\sim 0.4$  мкм. Пленки получали по двум режимам. В первом режиме осаждение пленки проводилось при температуре, выбранной в интервале от 540 до 600°C. Во втором пленки осаждали при температуре подложки  $\sim 300^\circ\text{C}$  и проводили дополнительный их отжиг при температуре в указанном интервале непосредственно после осаждения без выноса их на воздух.

Влияние температуры осаждения и отжига на морфологию поверхности пленок исследовалось по микрофотографиям, снятым на электронном микроскопе с угольно-платиновых реплик. При повышении температуры осаждения пленки от 540 до 580°C размер зерна увеличивается (см. рисунок, *a, б, в*). Причем пленки, выращенные при 540°C, имеют еще мелкозернистую структуру. При  $T_{\text{п}} = 560^\circ\text{C}$  растут пленки, мелкие зерна в которых объединены в более крупные островки. При дальнейшем повышении температуры роста (до 580°C) зерна в этих островках сливаются и образуют большие зерна, размеры которых достигают нескольких (1–5) микрометров.

Для пленок, осажденных при пониженной температуре (300°C) и затем отожженных, характер зависимости размера зерна от температуры отжига был аналогичен предыдущему случаю. Однако у этих пленок зерна имели плоскую вершину (см. рисунок, *г, д, е*). Размеры отдельных зерен достигали  $\sim 0.8$  мкм.

В таблице приведены значения температуры осаждения ( $T_n$ ) и отжига ( $T_{\text{отж}}$ ), а также их удельного сопротивления ( $\rho$ ), концентрации ( $N$ ) и подвижности ( $\mu$ ) носителей заряда пленок. Видно, что с повышением температуры подложки сопротивление падает, а концентрация носителей повышается и при  $T_{\text{п}} = 580^\circ\text{C}$  достигает максимального значения, равного  $3.6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Максимальная подвижность носителей в такой пленке составляла  $\sim 90 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . При дальнейшем повышении температуры сопротивление увеличивалось. В пленках, выращенных в двухстадийном режиме, также наблюдался немонотонный характер зависимости  $\rho$  от  $T_{\text{отж}}$ . При температуре отжига 580°C концентрация



Микрофотографии угольных реплик от поверхности пленок кремния, выращенных при: *a* — 540, *b* — 560, *в* — 580°C, *г-е* — 300°C и отожженных при *г* — 540, *д* — 560 и *е* — 580°C ( $\times 16000$ ).

Удельное сопротивление ( $\rho$ ), концентрация ( $N$ ) и подвижность ( $\mu$ ) носителей заряда в легированных алюминием пленках поликристаллического кремния в зависимости от режима получения пленок

$T_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{отж}}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{см}$	$N, \text{см}^{-3}$	$\mu, \text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$
540	—	$1.5 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^{15}$	3.8
560	—	1.2	$1.1 \cdot 10^{18}$	14.4
580	—	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$3.6 \cdot 10^{18}$	89
600	—	4.6	$5.2 \cdot 10^{17}$	5.9
300	540	$7.8 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{16}$	2.5
300	560	$2.7 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{17}$	4.2
300	580	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{18}$	29
300	600	$5 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^{16}$	7.3

носителей в пленке почти совпадала с концентрацией их в источнике, а максимальная подвижность носителей достигала значения, равного  $29 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ .

Более высокая концентрация носителей заряда в пленках, выращенных по второму режиму, по сравнению с концентрацией их в пленках поликристаллического кремния, выращенных по первому режиму, связана, вероятно, с различием механизма захвата легирующей примеси (алюминия) растущим слоем кремния. При наращивании поликристаллической пленки при повышенной температуре ( $540\text{--}600^\circ\text{C}$ ), как и в случае наращивания эпитаксиального слоя, алюминий сегрегирует на поверхности [11]. Лишь после накопления ее на поверхности роста до некоторой величины она начинает входить в кристалл [12]. В случае же осаждения при пониженной ( $\sim 300^\circ\text{C}$ ) температуре примесь входит в аморфную пленку с коэффициентом захвата, равным единице. При последующем отжиге происходит рекристаллизация пленки, а внедренная примесь становится электрически активной. Повышение температуры отжига выше  $580^\circ\text{C}$  приводит, вероятно, к усилению диффузии алюминия к границам зерна. В результате концентрация его в зерне уменьшается, а сопротивление — повышается. Возможной причиной улучшения электрических свойств пленок поликристаллического кремния, легированных в процессе осаждения алюминием, является также пассивация границ зерен за счет значительной диффузии его к границам зерен [13].

Таким образом, использование соиспарения алюминия при осаждении кремния из молекулярных пучков позволяет наращивать поликристаллический кремний при относительно низкой температуре ( $\sim 580^\circ\text{C}$ ) с размером зерна в несколько микрон, концентрацией носителей заряда, близкой к концентрации их в источнике, и подвижностью носителей, равной  $\sim 30\text{--}90\text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ .

## Список литературы

- [1] *Hatalis M.K., Greve D.W.* // IEEE Electron Device Lett. 1987. EDL-8. P. 361.
- [2] *Shi Z., Wenham S.R.* // Prog. Photovolt. 1994. V. 2. P. 153.
- [3] *Rasky P.H.L., Greve D.W., Kryder M.N., Dutta S.* // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. P. 4077.
- [4] *Malhi S.D.* et al. // IEEE Trans. Electron Devices. 1985. ED-32. P. 258.
- [5] *Seager H., Grinley D.S.* // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 34. P. 337.
- [6] *Mimura A., Konishi N., Ono K.* et al. // IEEE Trans. Electron Devices. 1989. ED-36. P. 351.
- [7] *Yamauchi N., Reif R.* // J. Appl. Phys. 1994. V. 75. P. 3235.
- [8] *Fang P.H., Ephrath I., Nowak W.B.* // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. P. 583.
- [9] *Chang C.A., Siekhaus W.J., Kaminska T., Hou D.T.* // Appl. Phys. Lett. 1975. V. 26. P. 178.
- [10] *Павлов Д.А., Шенгуров В.Г., Шенгуров Д.В., Хохлов А.Ф.* // ФТП. 1995. Т. 29. В. 2. С. 286.
- [11] *Becker G.E., Bean J.C.* // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. P. 3395.
- [12] *Кузнецов В.П., Рубцова Р.А., Исаева Т.М.* и др. // Электронная техника. Сер. Материалы. 1983. Т. 11. С. 24.
- [13] *Sundaresan R., Burk D.E., Fossum J.G.* // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. P. 1162.