

©1995 г.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ СУБЛИМАЦИИ ЛЕГИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Д.А.Павлов, В.Г.Шенгуров, Д.В.Шенгуров, А.Ф.Хохлов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603600, Нижний Новгород, Россия
(Получена 4 июля 1994 г. Принята к печати 12 июля 1994 г.)

Исследована эффективность легирования в процессе роста пленок поликремния, полученных методом молекулярно-лучевого осаждения. Примесный состав и однородность пленок поликремния, легированных бором, алюминием, галлием, мышьяком и сурьмой, определялись по данным вторичной ионной масс-спектро스코пии. Холловские измерения концентрации электрически активной примеси показывают, что зависимость эффективности легирования от температуры осаждения носит немонотонный характер.

Пленки поликристаллического кремния (ППК) широко используются в микроэлектронных приборах и устройствах [1,2]. Для повышения электропроводности ППК необходимо контролируемое легирование их с помощью различных методов: термодиффузии, ионной имплантации и введения примесей в процессе роста. Несмотря на очевидные достоинства последнего метода, он имеет ограниченное применение. Это связано в большей степени с недостаточной изученностью его.

Для исследования внедрения легирующей примеси в растущий слой поликристаллического кремния целесообразно использовать метод молекулярно-лучевого осаждения (МЛО). В этом методе число параметров осаждения, влияющих на процесс легирования пленок, значительно меньше, чем в других методах (например, в методе разложения моносилана). Для установления корреляции между свойствами ППК и условиями введения легирующей примеси необходимо обеспечить «чистые» условия процесса осаждения пленок. Одним из вариантов МЛО является сублимация кремния, при которой легче создать «чистые» потоки атомов кремния и легирующей примеси [3,4]. Кроме того, для легирования ППК можно использовать значительно более широкий спектр последних.

Цель данной работы — исследование возможности получения методом сублимации кремния поликристаллических пленок с минимальным содержанием посторонних примесей и легирования их в процессе роста широким спектром электрически активных примесей.

Источниками потоков служили прямоугольные пластины монокристаллического кремния размером 75×0.8 мм³. Подложодержатель был изготовлен из такой же кремниевой пластины шириной 20 мм. Пластины располагались параллельно друг другу на расстоянии 15 мм и разогревались проходящим через них током [3]. Между пластинами был расположен подвижной экран, предохраняющий от загрязнений поверхность подложки перед осаждением кремния. Подложками служили пластины кремния, на которых предварительно выращивали термический окисел кремния толщиной ~ 0.1 мкм.

Температура источника при напылении кремния составляла $\sim 1380^\circ\text{C}$, а температура подложки выбиралась в диапазоне от 400 до 700°C . Давление остаточных газов в камере составляло $(8 \div 22) \times 10^{-6}$ Па. Слой толщиной $0.5 \div 2$ мкм выращивались со скоростью ~ 0.6 нм/с. В качестве источников использовались кремниевые пластины, легированные мышьяком (до концентрации $N = 10^{19}$ см⁻³), сурьмой ($N = 2 \cdot 10^{18}$ см⁻³), бором ($N = 5 \cdot 10^{19}$ см⁻³), алюминием ($N = 4 \cdot 10^{18}$ см⁻³) и галлием ($N = 5 \cdot 10^{19}$ см⁻³).

Содержание примесей в пленках контролировали методом вторично-ионной масс-спектрографии (ВИМС), электрически активной, — путем измерения значений холловской подвижности по методу Ван-дер-Пау. Слоевое сопротивление ППК измеряли стандартным четырехзондовым методом.

Выращенные нами пленки имели структурно-морфологические характеристики, близкие к наблюдаемым в ППК, полученным методом электронно-лучевого осаждения кремния в высоком вакууме [5]. В частности, температура наращивания, при которой происходит переход от аморфной структуры к поликристаллической, составляла $450 \div 520^\circ\text{C}$. Средний размер зерна, как и в [5], увеличивался с ростом температуры подложки и толщины пленки. Однако эти размеры были несколько больше, чем в [5]. Так, в пленках толщиной 1 мкм он составлял ~ 200 нм при $T_s = 550^\circ\text{C}$ и 250 нм при $T_s = 625^\circ\text{C}$.

Типичные масс-спектры положительных и отрицательных ионов, легированных алюминием ППК, представлены на рис. 1, *a, b*. Видно, что в пленках присутствуют такие примеси, как водород, азот, кислород, натрий, алюминий, кальций, углерод и хлор. Первые три элемента и углерод внедряются, вероятно, из остаточных газов, присутствующих в ростовой камере. Остальные элементы, в том числе и кислород, имеются и в материале кремниевого источника [5]. Следует отметить, что содержание многих примесей в выращенных нами пленках значительно меньше, чем в ППК, выращенных электронно-лучевым испарением кремния [5]. Практически в наших пленках отсутствуют пики интенсивности таких примесей, как литий, медь, марганец, олово, молибден, наблюдаемые в [5]. В работе [5] наличие меди и молибдена в пленках связывают с использованием этих металлов в качестве конструктивного материала для изготовления таких узлов как тигель, печь, заслонка, которые могут нагреваться до значительных температур. В наших условиях наиболее греющиеся детали изготовлены из кремния, а места их контакта с держателями грелись незначительно, так как токовводы охлаждались проточной водой. Поэтому и загрязнение атомного потока кремния было минимальным.

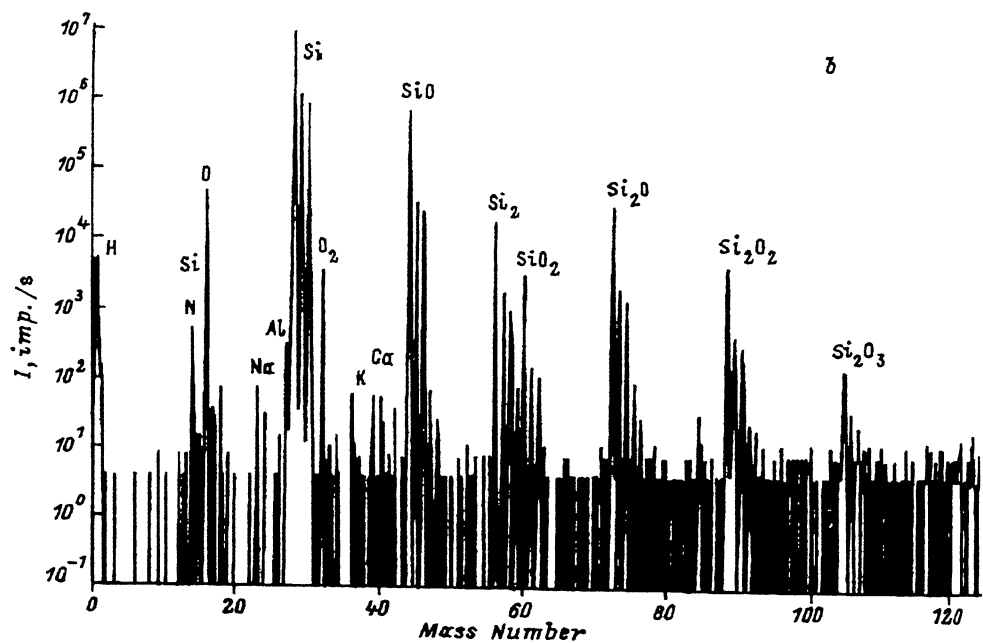
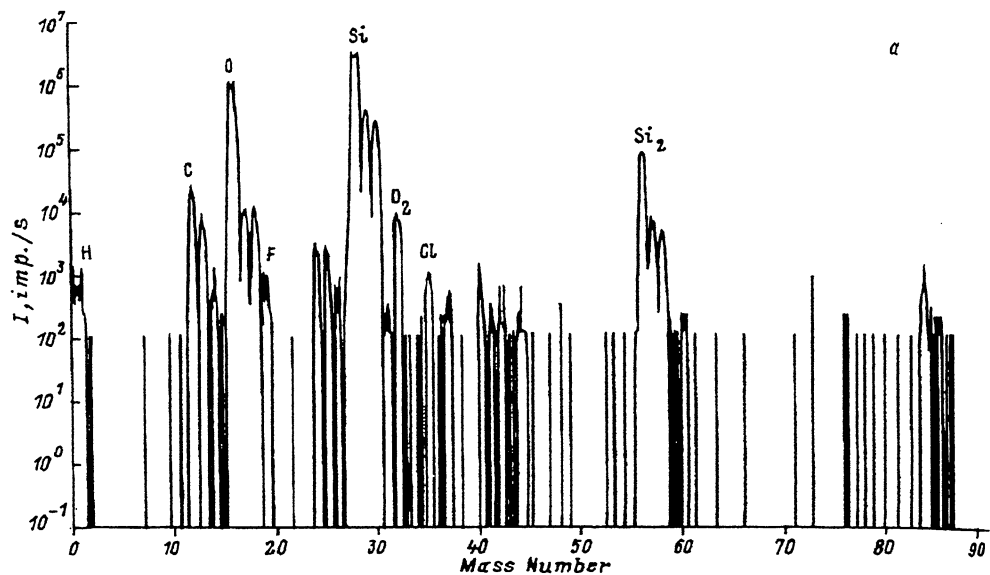


Рис. 1. Примесный состав ППК, полученных из источника КДА-0.02.
 а — масс-спектры положительных ионов при возбуждении пучком O_2^+ , $E = 6$ кэВ;
 б — масс-спектры отрицательных ионов при возбуждении пучком Cs^+ , $E = 13$ кэВ.

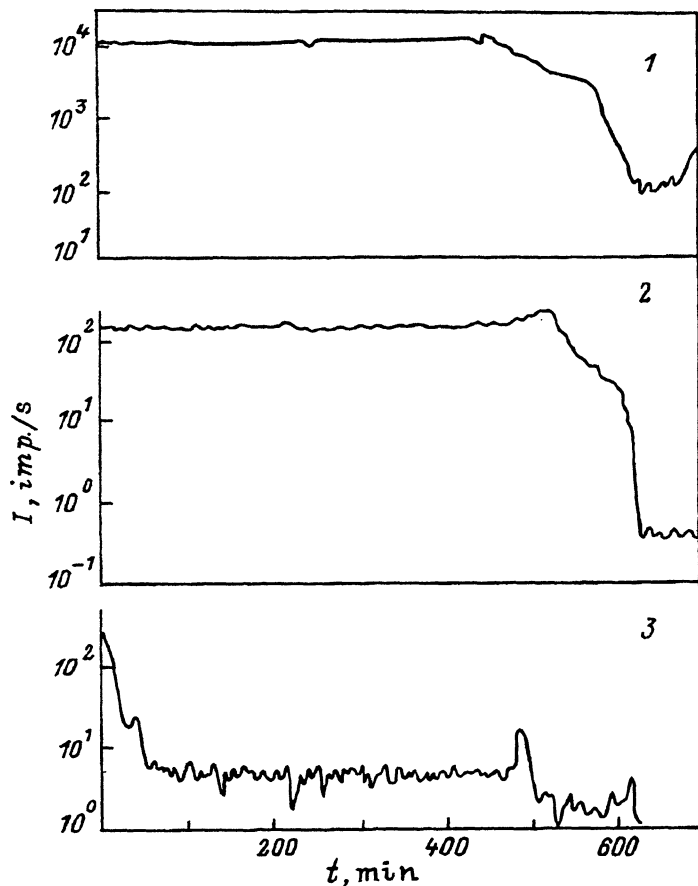


Рис. 2. Послойный анализ ППК, полученных из источников: 1 — КДА-0.02, 2 — КЭМ-0.005, 3 — КЭС-0.01, O_2^+ , $E = 6$ кэВ, $I = 150$ мА.

Результаты послойного анализа пленок, легированных разными примесями (алюминий, мышьяк, сурьма), приведены на рис. 2. Видно, что легирующая примесь распределена равномерно по толщине пленки. В случае легирования сурьмой наблюдалась сегрегация примеси вблизи поверхности пленки.

Дополнительную информацию о содержании легирующей примеси в ППК можно получить из данных холловских измерений. Результаты измерений электрофизических параметров ППК приведены в таблице. Из нее видно, что для всех сортов примесей концентрация электрически активной примеси в ППК зависит от температуры роста. На примере легирования бором и алюминием видно, что с увеличением температуры роста концентрация примеси в слоях повышается, проходит через максимум, а затем вновь понижается. Для случая легирования алюминием этот максимум оказывается вблизи эвтектической точки системы алюминий-кремний. Отметим, что средний размер зерна в пленках, выращенных при $T_s = 577^\circ\text{C}$, достигает нескольких микрометров. Слоевое сопротивление ППК, полученных сублимацией кремния, близко к сопротивлению пленок, легированных методом ионной имплантации [6]. Подвижность носителей заряда выше, чем в ранее полученных пленках [1,2].

№	Марка кремния источника	T_s , °C	d , мкм	Тип проводимости	μ , см ² /В·с	N , см ⁻³	ρ , Ом·см	R_s , Ом/□
21	КДА-0.02	520	1.9	<i>p</i>	24	$1.7 \cdot 10^{15}$	155	—
22	—	560	1.0	—	40	$3.0 \cdot 10^{18}$	0.024	0.2
23	—	580	1.6	—	88	$3.6 \cdot 10^{18}$	0.020	0.15
42	—	600	1.6	—	5.2	$1.7 \cdot 10^{16}$	68	—
45	КДБ-0.005	520	1.6	—	—	$1.0 \cdot 10^{17}$	0.6	10^4
46	—	600	2.0	—	2.7	$6.0 \cdot 10^{18}$	0.38	52
47	—	650	2.0	—	3.8	$3.0 \cdot 10^{15}$	170	—
58	КДГ-0.005	500	0.6	—	7.2	$1.5 \cdot 10^{17}$	2.2	—
59	—	590	0.6	—	5.6	$2.0 \cdot 10^{15}$	596	—
70	КЭС-0.01	530	1.1	<i>n</i>	4.1	$8.0 \cdot 10^{14}$	320	—
71	—	560	0.8	<i>n</i>	3.8	$7.0 \cdot 10^{16}$	31	—
72	—	600	1.0	<i>n</i>	7.2	$6.0 \cdot 10^{15}$	127	—

Немонотонный характер распределения легирующей примеси в слоях кремния можно объяснить следующим образом. При низких температурах осаждения пленки имеют частично аморфную структуру, поэтому они высокоомные. При повышенных температурах осаждения ($> 600^\circ\text{C}$) происходит, вероятно, диффузия примеси к границам зерен, поэтому сопротивление пленок также повышается.

Таким образом, при испарении кремния через сублимацию можно получать более чистые ППК по сравнению с методом электроннолучевого испарения. Обнаружено немонотонное распределение электрически активной примеси в ППК при повышении температуры роста. Получены пленки со слоевым сопротивлением, близким к сопротивлению слоев, легированных методом ионной имплантации.

Список литературы

- [1] Ф.Л. Эдельман. *Структура компонентов БИС* (Новосибирск, Наука, 1980).
- [2] В.М. Колешко, А.А. Ковалевский. *Поликристаллические пленки полупроводников в микроэлектронике* (Минск, Наука, 1978).
- [3] М.И. Овсянников, В.Г. Шенгуров, В.Н. Шабанов, М.Л. Шильникова. *Электрон. тех., сер. 6, Материалы*, вып. 9, 34 (1983).
- [4] В.П. Кузнецов, А.Ю. Андреев, Н.А. Алябина. *Электронная промышленность*, № 9, 57 (1990).
- [5] N.K. Annamalai. *Thin Sol. Films*, 155, 97 (1987).
- [6] Г.В. Гордеева, С.С. Горелик, Г.А. Зеликман и др. *Микроэлектроника и полупроводниковые приборы*, вып. 6, 166 (1981).

Редактор В.В. Чалдышев

Sublimation method in obtaining doped films of polycrystalline silicon

D.A. Pavlov, V.G. Shengurov, D.V. Shemgurov, A.F. Khokhlov

Nizhegorodsky State University, 603600 Nizhny Novgorod, Russia