

УДК 537.9

ИОННО-ЛУЧЕВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ВЫСОКООМНЫХ СТЕКОЛ С ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

А. В. Багуля, В. М. Гришин, В. А. Кротков¹, Негодаев, Н. В. Петровых²

Экспериментально исследована возможность ионно-лучевого распыления высокоомных стекол с электронной проводимостью для приготовления тонких полупроводящих пленок. Путем распыления силикатных и фосфатных стекол с удельным объемным сопротивлением $10^9 - 10^{10}$ Ом·см получены пленки площадью 100×100 мм² с поверхностным сопротивлением $10^{10} - 10^{15}$ Ом/квadrat.

Тонкие пленки аморфных высокоомных полупроводников находят все большее применение в различных областях науки и техники. Основными способами их получения являются различные методы распыления – лазерное, магнетронное, радиочастотное и ионно-лучевое. Последний метод, в котором распыление осуществляется ионным пучком, обладает рядом преимуществ. Основное преимущество ионно-лучевого распыления состоит в возможности изменения параметров пленки (прежде всего структуры и состава) в широких пределах, поскольку энергию ионов и плотность тока пучка можно регулировать независимо. Кроме того, поскольку подложка изолирована от области взаимодействия пучка с мишенью, поверхность пленки можно дополнительно активировать, обдувая, например, подходящей газовой смесью [1, 2]. В настоящей работе экспериментально исследована возможность приготовления тонких полупроводящих пленок путем ионно-лучевого распыления мишени из высокоомного стекла с электронной проводимостью.

Ионно-лучевое распыление высокоомных стекол с электронной проводимостью осуществлялось на установке ГЕЛИС (Лаборатория электронов высоких энергий, ФИАН),

¹НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, Зеленоград.

²АО НПЦ НИИ Электровакуумного стекла, Москва.

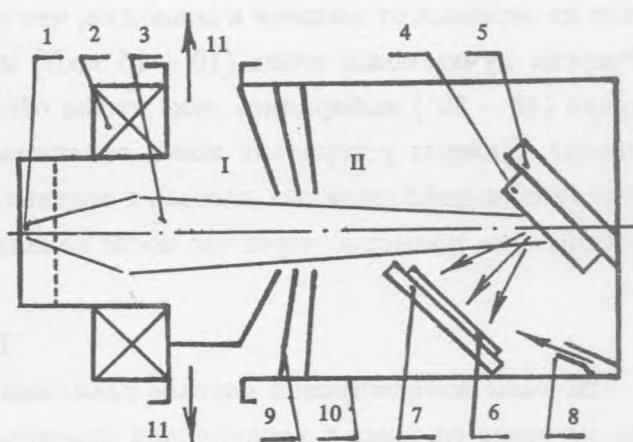


Рис. 1. Схема ионно-лучевого распыления высокоомного стекла с электронной проводимостью (I – камера ускорения, II – камера распыления): 1 – ионный источник (плазматрон); 2 – фокусирующая магнитная линза; 3 – ионный пучок; 4 – стеклянная мишень; 5 – держатель мишени; 6 – подложка; 7 – держатель подложки; 8 – натекатель; 9 – трехступенчатая дифференциальная откачка; 10 – герметичный корпус; 11 – к насосу.

которая представляет собой ускоритель ионов элементов с атомными номерами в диапазоне $Z = 1 - 54$, обеспечивающий энергию ионов до 50 кэВ . На рис. 1 показана схема ускорителя ионов ГЕЛИС, модифицированного для распыления высокоомных стекол с электронной проводимостью. Герметический корпус 10 ускорителя ионов, изготовленный из нержавеющей стали, диаметром 40 см и длиной около 250 см разделяется системой трехступенчатой дифференциальной откачки 9 на две части: собственно ускоритель ионов (камера ускорения) I и камера распыления II. Пучок ионов неона 3 из ионного источника 1 типа плазматрон после ускорения в электростатическом поле и фокусировки магнитной линзой 2 пропускаться через молибденовую диафрагму диаметром 10 мм и направлялся на стеклянную мишень 4, которая установлена на медном водоохлаждаемом держателе 5. Напротив мишени на расстоянии $15 - 20 \text{ см}$ располагалась подложка 6, которая закреплялась в держателе 7, обеспечивающим контроль изменения сопротивления пленки в течение ее роста. Рядом с подложкой располагался натекатель 8, через который в камеру распыления подавался гелий. Давление в камере распыления составляло $10^{-3} - 10^{-4} \text{ торр}$, тогда как за счет системы дифференциальной откачки давление в камере ускорения поддерживалось на уровне 10^{-6} торр . При этом давление около поверхности подложки примерно на порядок превышало среднее давление в

камере распыления. Это приводило к дополнительному рассеянию кластеров распыляемого стекла в процессе их переноса от мишени к подложке, что улучшало однородность толщины пленки. Энергия пучка ионов неона (10 – 15 кэВ) и угол наклона мишени относительно оси пучка (40 – 50°) выбирались так, чтобы обеспечить максимальный коэффициент распыления. Камеры ускорителя ионов откачивались системой механических, турбомолекулярных и диффузионных насосов с азотными ловушками. Рабочие режимы давления достигались примерно через час после начала откачки.

Т а б л и ц а 1

Весовые концентрации окислов элементов
в высокоомных стеклах с электронной проводимостью

Окисел	Состав I, %	Состав II, %
SiO_2	30 – 50	—
B_2O_3	0 – 10	—
Al_2O_3	1 – 3	—
V_2O_5	1 – 5	~ 10
Fe_2O_3	15 – 20	~ 20
BaO	20 – 30	—
SrO	10 – 15	—
PbO	—	30
P_2O_5	—	40

В качестве мишеней использовались пластинки высокоомного стекла с электронной проводимостью толщиной 4 – 5 мм и диаметром около 10 мм, изготовленные по рецептурам и технологии АО НПЦ НИИ электровакуумного стекла (табл. 1) [3]. Состав I представляет собой многокомпонентное силикатное стекло, удельное сопротивление которого $\rho = 10^9 - 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ определяется прыжковой проводимостью поляронов малого радиуса между состояниями с различной валентностью ионов переходных металлов (ванадий, железо). Фосфатное стекло состава II имеет удельное сопротивление $\rho \sim 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, причем благодаря увеличенному содержанию окиси свинца проводимость после распыления может определяться не только прыжковым, но и зонным (металлическим) механизмом (вдоль микровкраплений восстановленного свинца).

В качестве подложек использовались пластинки фотошаблонного кварцевого стекла ($\rho \gtrsim 10^{16} \text{ Ом} \cdot \text{см}$) размером $127 \times 127 \times 3 \text{ мм}^3$. На рабочей поверхности подложек методом

электронно-лучевой литографии наносились металлические (хром) микроstriпы толщиной 0,1 – 0,15 мкм с контактными площадками, которые соединялись с прижимными контактами держателя подложки. Контакты через герметичные разъемы соединялись с тераомметром для контроля сопротивления между микроstriпами в процессе напыления.

При токе ионного пучка 0,5 – 1 мА и времени экспозиции 5 – 10 часов толщина пленки, измеряемая с помощью эллипсометра, лежала в диапазоне $t = 0,02 - 0,1$ мкм. Неоднородность толщины пленки оценивалась с помощью измерения сопротивления между микроstriпами на ее периферийных частях. Для пленки размерами 100×100 мкм² неоднородность, как правило, не превышала 100%.

Для практических приложений представляет интерес динамика изменения сопротивления пленки после окончания распыления. Сразу после окончания распыления поверхностное сопротивление, измеренное в вакууме, составляет обычно $R_s \sim 10^{11} - 10^{12}$ Ом/квaдрат (т.е. $\rho \sim R_s t \sim 10^6 - 10^7$ Ом·см). После наполнения объема ускорителя ионов воздухом сопротивление начинает быстро расти – примерно на 1 – 2 порядка в течение суток. Затем рост сопротивления замедляется и после изменения примерно на порядок в последующие 30 – 40 дней его значение стабилизируется на уровне $R_s \sim 10^{14} - 10^{15}$ Ом/квaдрат, соответствующем $\rho \sim 10^8 - 10^9$ Ом·см, что близко к удельному объемному сопротивлению исходных стеклянных мишеней. Такой характер временной зависимости сопротивления согласуется с наблюдавшимся в исследованиях пленок, полученных путем магнетронного распыления мишеней из свинцово-силикатного стекла в нейтральной (чистый аргон) газовой среде [4]. Качественно такое поведение можно объяснить, по-видимому, влиянием поглощения воды и дополнительного окисления восстановленных в процессе распыления компонентов пленки. Кроме того, нестабильное поведение сопротивления пленки в течение ее контакта с атмосферным воздухом указывает на значительно большую пористость ее структуры по сравнению с исходной стеклянной мишенью. Для уменьшения пористости необходима дополнительная обработка пленки. Этот вопрос в настоящее время исследуется.

Полученные с помощью ионно-лучевого распыления пленки позволили существенно улучшить параметры микроstriповой газовой камеры и упростить технологию ее изготовления [5, 6]. Меняя толщину пленки и удельное объемное сопротивление стеклянной мишени, можно значительно увеличить диапазон получаемых поверхностных сопротивлений, что существенно расширит область применения этих новых материалов.

Авторы признательны А. А. Комару и С. И. Никольскому за поддержку настоящей

работы и благодарят Ф. Саули, В. Ригато и М. Гейдрика за многочисленные стимулирующие обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. II. Под ред. Р. Бериша. М., Мир, 1986.
- [2] Bagulya A. V. et al. Mat. Sci. and Eng. B21, 5 (1993).
- [3] Petrovych N. V. Proc. of 10 Int. Glass Congress, Tokyo, 1974.
- [4] Della Mea G. et al. Characterization of thin films of lead silicate glasses deposited by RF Magnetron sputtering. Proc. 2nd European Soc. of Glass Sci. and Techn. Int. Conf. (June 1993).
- [5] Bouclier R. et al. Preprint CERN-PPE/93-192.
- [6] Багуля А. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1 - 2, 45 (1994).

Поступила в редакцию 25 января 1994 г.