

06.2,12

©1994

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ, СОЗДАВАЕМОЙ МАГНЕТРОННЫМ РЕАКТИВНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

*Н.А.Розачев, А.Н.Кузнецов, Е.И.Теруков,  
А.А.Лебедев, В.Е.Челноков*

Перспективы создания приборов высокотемпературной электроники на основе SiC определили интерес к развитию новых технологических процессов роста поли- и монокристаллических слоев этих материалов. Главные тенденции в этом направлении заключаются в уменьшении температуры подложки, величин давления и потока газа при росте слоя. Методы, позволяющие уменьшить температуру подложки, используют плазменную технологию либо технологию горячей нити при пониженном давлении [1-5].

Возможность использования газов и твердых мишеней как источников компонентов растущего слоя относится к основным достоинствам метода магнетронного реактивного распыления. Он позволяет изменять энергии частиц и их поток на растущую поверхность в широких пределах, моделируя тем самым различные условия роста. В работе использовался планарный магнетрон, работающий при малых мощностях разряда и обеспечивающий небольшие скорости распыления, необходимые с точки зрения выполнения условий эпитаксиального роста слоя при уменьшении температуры подложки. Катод магнетрона представлял собой цилиндрический электромагнит с плоским держателем мишени диаметром 55 мм на торце. Кольцевой разрыв магнитопровода под мишенью обеспечивал выход магнитного поля в камеру реактора. Величина магнитного поля регулировалась изменением тока в обмотке магнита и могла изменяться от 0 до 60 мТ. Возможность изменять напряженность магнитного поля в магнетроне позволяла независимым образом регулировать соотношение напряжения и тока разряда, а следовательно, скорость распыления и энергию распыленных частиц. К кольцевому аноду, расположенному в плоскости катода, могло прикладываться напряжение от 300 до 500 В. Выбор распыляющего напряжения определялся необходимостью распылять мишень на атомном уровне при коэффициентах распыления меньше единицы, что выполняется при величинах  $U$  меньше 400 В. Необходимость

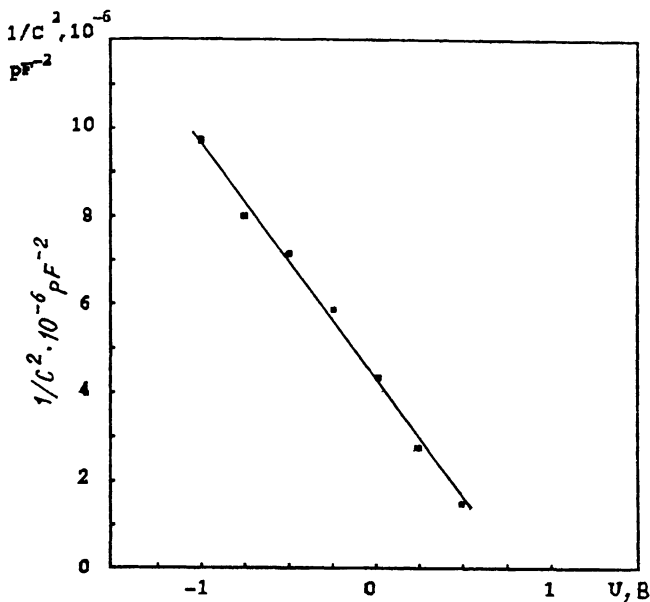
ограничения распыляющей мощности с одной стороны, и условия поддержания разряда — с другой, ограничили выбор величин тока разряда областью 15–25 мА.

Магнетрон размещался в камере стандартной вакуумной установки, откачиваемой ротационным и диффузионным насосами. Начальный вакуум составлял  $10^{-4}$  Па. Установка включала двухканальную систему смешения и напуска газов, позволявшую поддерживать давление газовой смеси в магнетронном реакторе в диапазоне от  $10^{-1}$  до 10 Па. Характерная величина давления газовой смеси составляла 1 Па.

В качестве мишеней использовались пластины из монокристаллов Si, легированного бором, пирографита, и мишень, собранная из монокристаллов SiC 5–7 мм диаметром и 0,5 мм толщиной. Газовые смеси включали аргон, силан и метан.

Держатель подложек помещался над мишенью магнетрона на высоте 8 см и имел нагреватель, позволявший поддерживать температуру подложки в диапазоне 350–1500 К. Электрический потенциал держателя мог выбираться произвольно и смещаться внешним источником как в положительную, так и в отрицательную стороны относительно потенциала плазмы. В качестве подложек использовались механически обработанные пластины монокристаллического карбида кремния с содержанием некомпенсированной примеси азота около  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , подвергнутые сублимационному травлению со стороны плоскости (001)Si и химически травленные пластины Si:B с проводимостью  $40 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Исследовались три серии образцов. Первая была получена распылением составной мишени из кристаллов SiC в атмосфере аргона, вторая — мишени из кремния в атмосфере аргона и метана, третья — мишени из пирографита в атмосфере аргона и силана. Структура образцов оценивалась с помощью дифракции рентгеновских лучей и дифракции отраженных электронов высоких энергий. Было установлено, что для роста кристаллических слоев SiC необходимо, чтобы температура подложки превышала 1100 К, а скорость осаждения составляла около 1 нм/мин. Эти параметры были характерны для всех типов мишеней. Главной причиной, определяющей поли- или монокристаллический характер роста, представляется подготовка поверхности подложки. При использовании кремниевых подложек могут расти как поликристаллические, так и монокристаллические слои параллельной эпитаксиальной ориентации кубической структуры. Исследование образцов, полученных на подложках из карбида кремния, также показывает возможность роста как поликристаллических, так и монокристаллических слоев гексагональной структуры при наиболее вероятной мо-



Типичная вольт-фарадная характеристика барьеров Mo-SiC.

дификации  $6H$ . Метод массспектрометрии вторичных ионов использовался для определения состава слоев, распределение состава по толщине исследовалось при послойном стравливании. Результаты показали, что состав поверхности слоя может отличаться от объема и зависит от состава газовой смеси и распыляющей мощности, будучи обогащен кремнием или углеродом. Разница концентраций компонентов в поверхностном слое и его толщине растет с ростом разницы их концентраций в газовой фазе. Так, для образца из первой серии при условиях, обеспечивающих рост качественного слоя SiC толщиной 60 нм, толщина поверхностного слоя состава 80%С-20%Si была около 10 нм. При росте слоев из потоков, обеспечивающих стехиометрический состав, образование поверхностного слоя не наблюдается.

На стехиометрических слоях, выращенных на подложках из SiC, были сформированы матрицы барьеров Шоттки с молибденовыми контактами, изготовленными по технологии, описанной в [6]. Исследовались I-V и C-V характеристики таких барьеров. Типичные I-V характеристики демонстрируют ярко выраженный выпрямляющий эффект и  $n$ -тип проводимости слоев. Высота барьеров составляла 0.8-1.0 эВ. C-V характеристики полученных барьеров хорошо спрямляются в координатах  $V-C^{-2}$  (см. рисунок) и

позволяют определить величину нескомпенсированной допорной примеси  $Nd-Na=6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Используемый низкотемпературный процесс роста слоев SiC характеризуется сильным отклонением параметров от равновесных. Необходимо отметить значительное переохлаждение подложки, превышение давления пара над давлением насыщения и малые потоки осаждаемых частиц. В этих условиях рост слоя, наиболее вероятно, осуществляется достройкой атомно-шероховатой поверхности подложки. Особенности миграции распыленных частиц на поверхности будут определяться их большой кинетической энергией и бомбардировкой растущего слоя ионами инертного газа плазмы.

Образование на поверхности растущего слоя области, обогащенной избыточной компонентой, можно объяснить тенденцией к достижению стехиометрического состава при росте каждого монослоя. В этом случае избыточная компонента переносится в следующий монослой, который растет в условиях переобогащения ею. Возможность вырастить большее количество качественных слоев связана с необходимостью скомпенсировать состав газовой фазы на более высоком уровне.

Перспективы развития метода определяются возможностью прецизионного регулирования состава газовой фазы.

Часть работы выполнена при поддержке US Department of Defence.

### Список литературы

- [1] *Nishino S., and Saraie J.* // Springer Proc. Phys. V. 34. Springer, Berlin, 1989, p. 186.
- [2] *Sugii T., Aoyama T., Ito T.* // J. Electrochem. Soc. 1990. V. 3. P. 989.
- [3] *Motoyama S., Morikawa N., Nasu M., Konedan S.* // J. Appl. Phys. 1990. V. 68. P. 101.
- [4] *Yoshinobu T., Mitsui H., Tarui Y., Fuyuki T., Matsunami H.* // J. Appl. Phys. 1992. V. 72. P. 2006.
- [5] *Wahab Q., Hultman L., Sundgren J.-E., Willander M.* // J. Mater. Sci. Eng. 1992. B. 11. P. 61.
- [6] *Аникин М.М., Андреев А.Н., Лебедев А.А., Пятко С.Н., Растегаева М.Г., Саекина Н.С., Стрельчук А.М., Сыркин А.Л., Челюков В.Е.* // ФТП. 1991. Т. 25. С. 328.

Физико-технический  
институт  
им.А.Ф.Иоффе  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
16 февраля 1994 г.