

РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ПОДЛОЖКИ В СИНТЕЗЕ КАРБИДА
КРЕМНИЯ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ЕСТЕСТВЕННОМ АЛМАЗЕ

И. П. Акимченко, В. В. Красноцевцев, Ю. В. Милотин

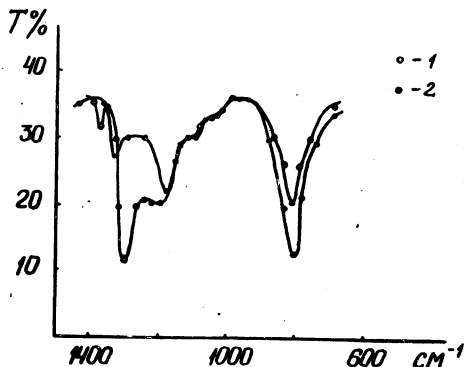
УДК 548.75 + 549.21 + 621.315.592

Методом ИК поглощения установлено, что эффективный объем фазы SiC, синтезированной в естественном алмазе при ионной имплантации Si, зависит от присутствия в исходной алмазной подложке "конденсатов вакансий" и дефектов пластинчатого типа ("пластинки").

При обсуждении особенностей синтеза полупроводниковых соединений методом ионной имплантации, включая синтез SiC, роль примесей и других структурных несовершенств подложки, как правило, не учитывается. Это обстоятельство связано, по-видимому, с тем, что концентрация внедренной компоненты при синтезе сравнима с концентрацией атомов исходной решетки и значительно выше концентрации легирующих или неконтролируемых примесей в полупроводнике. Однако, если для синтеза SiC используется естественный алмаз типа I (концентрация азота и других дефектов решетки до 10^{21} см^{-3}), то можно ожидать корреляции между параметрами имплантированного слоя и структурными несовершенствами подложки.

По спектрам поглощения в ИК области было установлено, что все используемые нами для синтеза SiC кристаллы алмаза относятся к типам Ia и "промежуточному", каждому из которых соответствует определенная система полос поглощения. На рис. 1 представлены спектры поглощения алмазов типа Ia с системой максимумов при 1175, 1280 и 1380 см^{-1} (кривая 1) и промежуточного типа с полосами поглощения при 1175 и 1340 см^{-1} (кривая 2). Известно, что эти полосы поглощения обусловлены дефектами различного типа. Максимум поглощения при 1175 см^{-1} , скорее всего, связан с присутствием в решетке алмаза "конденсатов вакансий, стабилизированных трехвалентным азотом" /1/. Эти дефекты проявляются в виде дислокационных петель в плоскостях (111) и сопровождаются так называемые

"пластинки" (platelets), характерные для кристаллов типа Ia. Полоса поглощения с максимумом при 1280 см^{-1} обусловлена примесным азотом, причем наиболее вероятные центры поглощения представляют собой либо пары несвязанных атомов азота в соседних узлах ре-



Р и с. 1. Спектры ИК поглощения кристаллов алмаза Ia (1) и "промежуточного" (2) типов, в которых синтезированы слои SiC

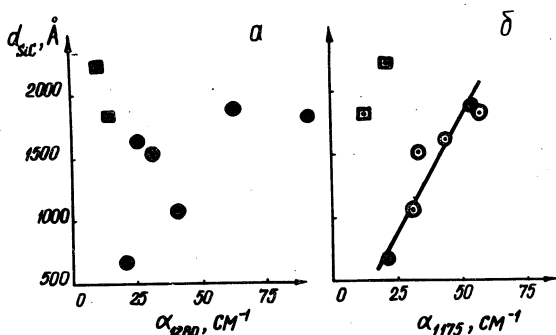
шетки /1/, либо группы из 2-8 /2/ или 5-16 /3/ атомов азота. В этих дефектах сосредоточена подавляющая часть (вплоть до 10^{21} см^{-3}) примесного азота. Наконец, максимуму поглощения при 1280 см^{-1} отвечают дефекты структуры в виде пространственных включений ("пластинок"), которые состоят из сегрегаций междоузельных атомов углерода и небольшого количества атомов азота /1,2/.

В результате имплантации ионов Si в алмаз (доза $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) и отжига при 1200°C в течение 30 мин происходит синтез SiC. Толщину образовавшегося слоя SiC можно оценить по полосе поглощения при 810 см^{-1} , обусловленной поперечными оптическими (TO) фононами.

Из сравнения спектров поглощения, представленных на рис. 1, следует, что полоса поглощения при 810 см^{-1} интенсивнее в кристалле промежуточного типа, где наблюдается четко выраженный максимум при 1175 см^{-1} (кривая 2).

О влиянии состава подложки на процесс кристаллизации SiC говорит и тот факт, что в кристалле алмаза, в котором имеются области с различным содержанием дефектов, толщина синтезированного

слоя по образцу может меняться вплоть до 80%. Анализ спектров поглощения 16 кристаллов Ia и промежуточного типов, в которых были синтезированы слои SiC разной толщины, показывает, что прямой корреляции между поглощением, обусловленным присутствием в ре-



Р и с. 2. Эффективная толщина слоя SiC, синтезированного при ионной имплантации с последующим отжигом, для разных значений концентрации примесного азота в подложке (а) и в зависимости от коэффициента поглощения в максимуме при 1175 см^{-1} (б) (кристаллы типа Ia). Экспериментальные точки в форме квадратов получены для алмаза промежуточного типа

шетке алмаза высокой концентрации азота (полоса 1280 см^{-1}), и объемом фазы SiC нет (рис. 2а). Вместе с тем наблюдается явная зависимость эффективной толщины слоя SiC от коэффициента поглощения в максимуме при 1175 см^{-1} (рис. 2б), хотя условия имплантации для некоторых исследуемых образцов различались. Аналогичная зависимость имеет место и от концентрации "пластинок" (полоса 1380 см^{-1}).

Тот факт, что объем синтезируемой фазы растет с увеличением концентрации вакансионных "конденсатов" и "пластинок", можно объяснить следующим образом. Известно, что дефекты этого типа создают более разупорядоченную кристаллическую структуру, чем чисто азотные комплексы. В кристалле с большим количеством дефектов пластинчатого типа значительное число связей C-C, присущих решетке алмаза, оказываются сильно деформированными или разорван-

ными еще до бомбардировки. После внедрения ионов кремния исходная кристаллическая фаза будет занимать в таком образце меньший объем, чем в подложке без дефектов, что приведет к увеличению эффективной толщины аморфного материала. Этот процесс будет способствовать зарождению и последующей кристаллизации фазы SiC.

Что касается "свободного" азота, то его роль в синтезе β -SiC при ионной имплантации представляется не вполне ясной. С одной стороны, он должен способствовать образованию SiC кубической модификации /4/, а с другой - затруднять возникновение ассоциаций Si-C, так как наряду с последними в имплантированном слое образуются молекулярные связи типа Si-N и C-N. Для выяснения роли примесного азота в синтезе карбида кремния при ионной имплантации нужны дальнейшие исследования с использованием достаточно чистых кристаллов алмаза и кремния, дополнительно имплантированного азотом.

Поступила в редакцию
8 августа 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. В. Соболев, В. И. Лисойван. ДАН СССР, 204, 88 (1972).
2. T. Evans, P. Rainey. Proc. R. Soc. (London), A344, 111 (1975).
3. R. Bergman, P. R. W. Hudson, M. Martinez. J. Phys. C, Solid State Phys., 8, L 430 (1975).
4. В. Ф. Книшпенберг, Г. Версэки. Карбид кремния. Под ред. Г. Хенша и Р. Роя. Изд-во "Мир", М, 1972 г., стр. 119.