

МИКРОМЕХАНИКА РОСТА ПОРЫ НА ГРАНИЦЕ ПОЛИТИПА В КРИСТАЛЛЕ
КАРБИДА КРЕМНИЯ

Кристаллы карбида кремния занимают важное место в развитии современной электроники. Однако его использование осложняется присутствием микротрубок — винтовых супердислокаций с полыми ядрами, направленных вдоль оси роста кристалла. Микротрубки проходят через весь кристалл и могут смещаться по мере его роста, накапливаясь на границах включений других политипов. Присутствие даже одной микротрубки в приборной структуре, построенной на основе карбида кремния, способно вывести из строя весь прибор.

Несмотря на важность изучения развития ансамбля микротрубок в растущем кристалле, имеется еще много нерешенных проблем. Так, в предыдущей работе мы рассмотрели вопрос о взаимодействии микротрубки, находящейся в положении устойчивого равновесия на границе включения, с другой микротрубкой, расположенной поблизости.

Целью настоящей работы является построение теоретической модели роста поры на границе включения в растущем кристалле карбида кремния и определение равновесного размера поры в зависимости от числа присоединившихся к ней микротрубок.

Рассмотрим двумерную модель, в которой кристалл представляется как бесконечное упругоизотропное твердое тело, содержащее стержнеобразное включение другой фазы с прямоугольным поперечным сечением. На одной из граней включения находится вытянутая пора с эллиптическим сечением, размер которого можно варьировать, изменяя оси эллипса. Приближающуюся к поре микротрубку представим в виде винтовой дислокации с вектором Бюргерса величиной $(3-7)c$, где c — параметр решетки вдоль оси гексагонального кристалла SiC. Несоответствие решеток включения и матрицы задается компонентами тензора собственной дисторсии включения β_{xz} и β_{yz} . Для расчета полей напряжения в такой системе применим метод виртуальных поверхностных дислокаций, часто используемый в микромеханике ограниченных и неоднородных тел.

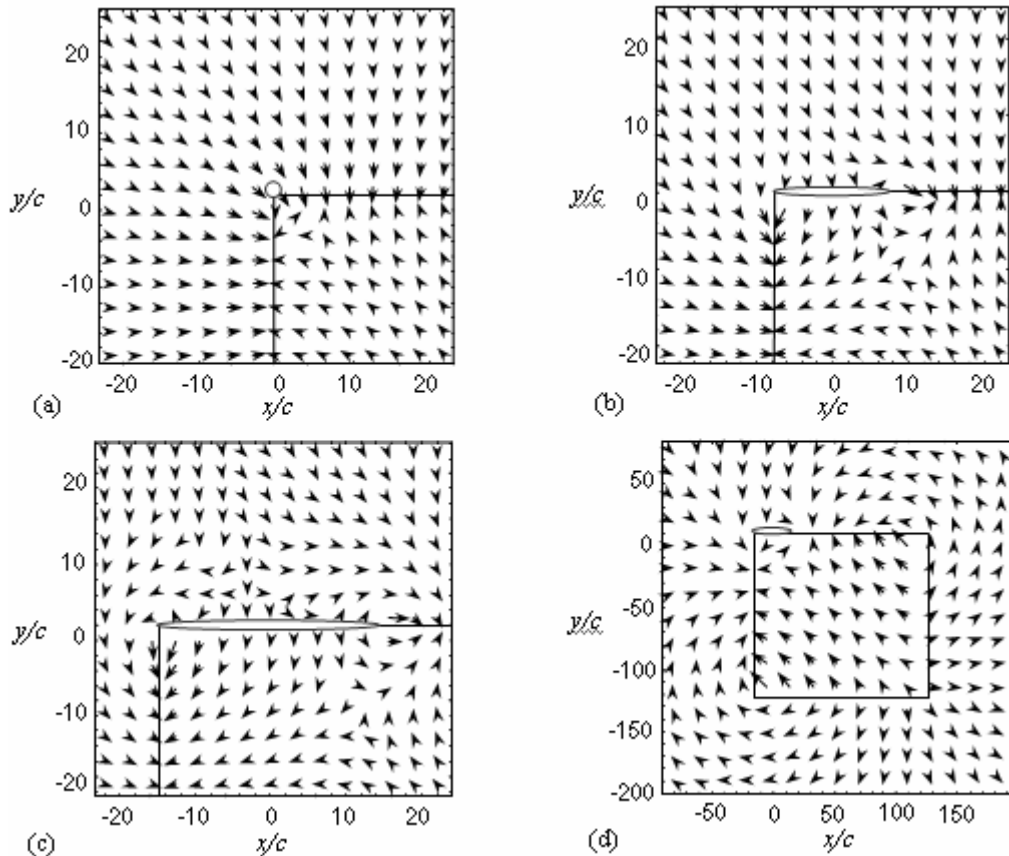


Рис. 1. Включение фазы 4Н в кристалле 6Н карбида кремния. Дисторсии равны $\beta_{xz} = 0.005$ и $\beta_{yz} = 0.005$. К включению подходят трубки с вектором Бюргерса $b=4c$. а) На угол включения села одна микротрубка и следующая притягивается в то же место. б) В пору слились 35 микротрубок и она по-прежнему притягивает подходящие микротрубки. в) Пору начала отталкивать подходящие микротрубки после того, как с ней слилось 68 микротрубок. д) Общий вид в случае (с)

Сила взаимодействия дислокации (микротрубки) и включения с эллиптической порой на границе складывается из двух слагаемых. Первое — это известная сила изображения, притягивающая дислокацию к свободной поверхности эллиптической поры [1]. Второе представляет собой силу, действующую на дислокацию со стороны упругого поля включения, содержащего эллиптическую пору на своей границе, причем с учетом упругих полей дислокаций, уже поглощенных порой. Для расчета этого слагаемого строилась следующая упругая модель. По контуру включения располагались непрерывные ряды виртуальных винтовых дислокаций, плотность которых определялась величиной собственной дисторсии включения. Упругие поля каждой из этих дислокаций брались с учетом свободной поверхности поры [1]. При этом все те виртуальные дислокации, которые попадали на участок границы, занятый порой, заменялись одной виртуальной супердислокацией с суммарным вектором Бюргерса. Упругое поле такой супердислокации, расположенной в эллиптической поре, известно [1]. Из этого упругого поля вычиталось суммарное поле всех реальных дислокаций, поглощенных порой. Эта разность складывалась с суммарным полем всех остальных виртуальных дислокаций, полученным интегрированием решения [1] по всему дислокационному ансамблю вне поры. Полученный результат моделирует упругое поле включения с граничной порой, растущей за счет поглощения новых дислокаций. Отсюда по формуле Пича-Келера и определяется второе слагаемое силы, действующей на дислокацию в матрице.

В качестве примера возьмем включение политипа 4Н-SiC в матрице политипа 6Н-SiC. Пусть включение имеет квадратное сечение размером 200 мкм. Будем считать, что

накапливающиеся на поверхности включения микротрубки изменяют размер поры только вдоль ее «горизонтальной» оси, увеличивая контур поры на длину своей окружности, одинаковой для всех микротрубок. Радиус микротрубки определяется по правилу Франка из вектора Бюргера содержащейся в ней дислокации, $R = Gb^2 / (8\pi^2 \gamma)$, где G — модуль сдвига, γ — плотность энергии свободной поверхности микротрубки. Для отношения γ/G в случае кристалла 6H-SiC известна оценка $\gamma/G \approx (1.1 - 1.6) \cdot 10^{-3}$ nm [2].

Рассмотрим поведение микротрубок вблизи включения. При собственной дисторсии $\beta_{xz} = 0.0005$ и $\beta_{yz} = 0.0005$ на угол включения может «сесть» только одна микротрубка. Последующие микротрубки, подходящие к включению, будут «садиться» на грани включения на некотором расстоянии от первой, и формирования общей поры не произойдет. В случае большей дисторсии микротрубки будут сливаться, образуя эллиптическую пору. При собственной дисторсии $\beta_{xz} = 0.05$ и $\beta_{yz} = 0.05$ пора занимает всю грань включения. Процесс роста поры в промежуточном случае $\beta_{xz} = 0.005$ и $\beta_{yz} = 0.005$ показан на рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА:

1. T.-Y.Zhang, J.C.M.Li. Mater. Sci. Eng. A 142 (1991) 35.
2. W.Si, M.Dudley, R.Glass, V.Tsvetkov, C.Carter, Jr. J.Electron. Mater. 26 (1997) 128.