

05;10;12

## **Исследование воздействия ионов криптона с энергией 305 MeV на высокоориентированный пиролитический графит**

© А.Ю. Дидык, С.В. Латышев, В.К. Семина, А.Э. Степанов,  
А.Л. Суворов, А.С. Федотов, Ю.Н. Чеблуков

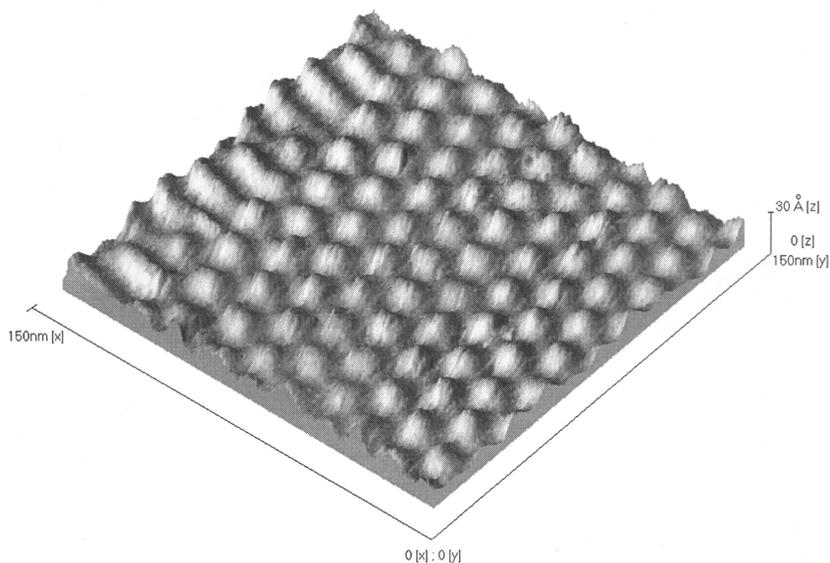
ГНЦ РФ Институт экспериментальной и теоретической физики, Москва

Поступило в Редакцию 20 апреля 2000 г.

Представлены результаты исследования с помощью сканирующего туннельного микроскопа поверхности высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ), облученного ионами криптона с энергией 305 MeV. Эти исследования показали, что неупругие потери энергии ионов криптона не оказывают существенного влияния на распыление поверхности кристаллических зерен ВОПГ. Так же как и у металлов, наблюдается значительное распыление границ кристаллических зерен. Отмечается, что неоднородность распыления поликристаллических проводников необходимо учитывать при интерпретации экспериментальных результатов по распылению поликристаллов быстрыми тяжелыми ионами в неупругой области потерь энергии.

Полученные результаты найдут практическое применение в технике имплантации глубоко лежащих слоев.

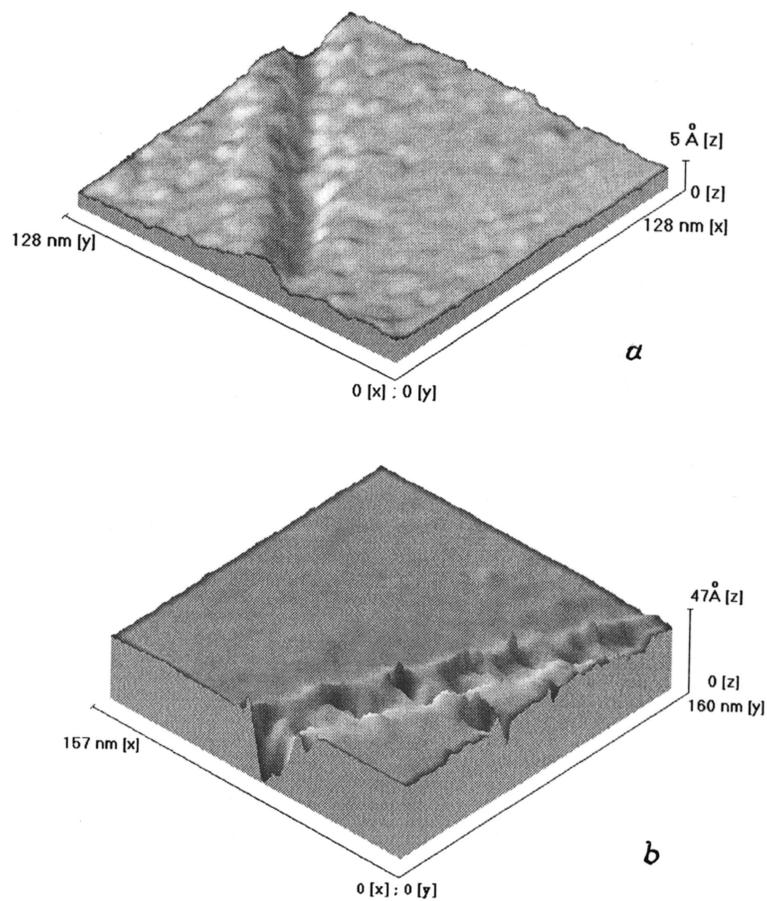
К настоящему времени появилось несколько экспериментальных работ [1–3] по исследованию распыления крупнозернистых металлов быстрыми тяжелыми ионами в неупругой области потерь энергии. Из этих экспериментов видно, что в этом случае влияние неупругих потерь мало сказывается на величине коэффициента распыления. Использование сканирующего электронного микроскопа для исследования распыленной поверхности металла быстрыми тяжелыми ионами позволило впервые наблюдать неоднородность распыления поверхности поликристаллического металла за счет неупругих потерь энергии ионов [4]. Было обнаружено [4], что границы кристаллических зерен распыляются значительно сильнее, чем их поверхность. Характерная величина коэффициента распыления границ зерен  $\geq 10^3$  atom/ion. Причем по



**Рис. 1.** "Островок" с суперпериодической структурой на поверхности ВОПГ.

мере накопления радиационных дефектов в процессе облучения до флюенса  $3 \cdot 10^{15}$  ион/см<sup>2</sup> тяжелыми ионами криптона с энергией 305 MeV коэффициент распыления металла на поверхности зерна увеличивается и становится сравнимым с коэффициентом распыления границы зерен. Это явление объясняется тем, что при накоплении дефектов в кристалле сокращается время передачи энергии от возбужденной в результате прохождения быстрого тяжелого иона электронной подсистемы атомам кристаллической решетки металла, образуется горячий трек вдоль траектории иона и включается испарительный механизм распыления.

В настоящей работе представлены результаты по исследованию поверхности высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) после ее облучения ионами криптона с энергией 305 MeV. До и после облучения образцы изучались при помощи воздушного сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Использование СТМ позволило в отличие от [4] проводить облучение образцов при низких флюенсах ионов. В первом эксперименте было проведено облучение ВОПГ ионами



**Рис. 2.** STM-изображение структуры поверхности: *a* — необлученного пиролитического углерода; *b* — пиролитического углерода, облученного ионами криптона (Kr) с энергией 305 MeV до флюенса  $5 \cdot 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup>.

криптона с флюенсом  $6 \cdot 10^{11}$  ион/см<sup>2</sup> STM — исследование (разрешение STM  $\sim 10$  Å) многочисленных участков облученной поверхности ВОПГ

не обнаружило каких-либо следов результата взаимодействия ионов криптона с поверхностью ВОПГ.

На одном из снятых сканов была обнаружена суперпериодическая структура на поверхности ВОПГ (рис. 1). Такая структура неоднократно наблюдалась ([15] и ссылки в этой работе) на необлученных образцах ВОПГ и, по-видимому, суперпериодическая структура (рис. 1) не связана с воздействием ионов криптона на поверхность ВОПГ. Однако, есть публикации [6,7], авторы которых связывают появление "островков" с суперпериодической структурой с облучением ионами.

Во втором эксперименте было проведено облучение ВОПГ ионами криптона с энергией 305 MeV до флюенса  $5 \cdot 10^{12}$  ion/cm<sup>2</sup>. При облучении половина поверхности образца была закрыта маской. После облучения при помощи СТМ целенаправленно искались границы зерен ВОПГ. На рис. 2 приведены облученная и необлученная части поверхности ВОПГ. На необлученной части (рис. 2, а) показан типичный вид границы зерна. Перепад высот (рис. 2, а) составляет величину  $\leq 5$  Å. На облученной части (рис. 2, б) четко видно преимущественное распыление границы зерен.

Представленные в настоящей статье результаты находятся в согласии с результатами работ [1–4], т.е. влияние неупругих тормозных потерь слабо сказывается на величине коэффициента распыления поверхности монокристаллов проводников и оказывает существенное влияние на коэффициент распыления кристаллов со значительным количеством дефектов (характерный коэффициент распыления  $\geq 10^3$  atom/ion) и, в частности, границ кристаллических зерен. Преимущественное распыление границ кристаллических зерен необходимо учитывать, при интерпретации результатов по исследованию распыления поликристаллических мишеней.

Следует отметить, что полученные экспериментальные результаты необходимо учитывать при ионной имплантации глуболежащих слоев.

## Список литературы

- [1] *Cheblukov Yu.N., Koshkarev D.G., Peuto A.R.* et al. // Part. Accel. 1992. V. 37–38. P. 351-353.
- [2] *Акапьев Г.И., Балабаев А.Н., Васильев Н.А.* и др. // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 1. С. 134–136.

- [3] *Mieskes H.D., Assmann W., Brodale M. et al. // NIM B. 1998. V. 146. P. 162.*
- [4] *Дидык А.Ю., Семина В.К., Халил А. и др. // ПЖТФ. 2000 Т. 26. В. 2. С. 1–7.*
- [5] *Oden P.L., Thundat T., Nagahara L.A. et al. // Surf. Sci. Letters. 1991. V. 254. P. 454–459.*
- [6] *Куликов Д.В., Суворов А.Л., Сурис Р.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 14. С. 89–93.*
- [7] *Biro L.P., Gyulai J., Havancsak K. // Phys. Rev. B. 1995. V. 52. N 3. P. 2047.*