

СТРУКТУРНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НАНОСТРУКТУРНОГО И АМОРФНОГО SiC:H

Ивашенко В.И., Порада О.К., Иващенко Л.А., Дуб С.Н., Тимофеева И.И., Закиев И.М.

Институт проблем материаловедения НАН Украины,
ул. Кржижановского, 3, 03680 Киев-142, Украина

* Fax: 38 (044) 4242131 E-Mail: ivash@materials.kiev.ua

Гидрогенизированные аморфные тонкие пленки карбида кремния (a-SiC:H) широко используются в оптоэлектронных приборах [1], а также как защитные и износостойкие покрытия [2]. Плазмохимическое осаждение (PECVD) является одним из основных методов, которые используются для синтеза пленок a-SiC:H. Было показано, что a-SiC пленки имеют механические свойства, который превосходят таковые a-SiC:H покрытий [3]. Однако, исследования [2,4] показали, что пленки a-SiC:H, обладающие сравнительно низкими нанотвердостью (H) и упругим модулем (E) (до 10 ГПа и 120 ГПа, соответственно), имеют хорошую абразивную износостойкость, что делает их пригодными для защитных покрытий.

В работе исследуются трибологические свойства PECVD a-SiC:H покрытий. Пленки получены с использованием метилтрихлорсилана (MTCS) и, поэтому дешевле, чем покрытия, приготовленные из традиционной силано-метановой смеси. Температура подложки (T_s) изменялась в пределах 200 - 600 °C, смещение на подложке и H_2 :MTCS+ H_2 отношение были -200 В и 5, соответственно. Общее давление в камере было до 1 Тора. Тонкие покрытия (0.2-0.3 мкм) были осаждены на протяжении 50 мин.

Состав пленок исследовался с помощью Оже спектрометра JAMP-10S (JEOL, Япония). Толщины пленок оценивались с использованием микропрофилометра Alpha-Step 200 (Tencor Instruments, USA) и шар-шлифа (для предварительной оценки). Структурный анализ выполнен на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 (СССР). Эксперимент по наноиндентированию выполнен на приборе Nano Indenter IITM (MTS Systems Inc., Oak Ridge, USA). С целью оценки абразивного износа применялся прибор шар-шлиф (Украина). Эксперимент проводился в присутствии алмазной суспензии фракции 0.1 мкм. Структура кратера анализировалась при помощи бесконтактного профилометра Non-Contact High Resolution Profilometer "Micron-alpha" (Украина).

Оже анализ показал, что пленки состоят приблизительно из 60, 35 и 5 ат% кремния, углерода, кислорода, соответственно. След хлора, до 0.8 ат% был также выявлен.

Мы исследовали структуру рентгеновских дифракционных спектров пленок, осажденных на подложки Si(100) при 200, 390 и 600 °C. Спектры показаны на Рис. 1. В отличие от дифракционной картины образца, полученного при 200 °C, в спектрах высокотемпературных пленок наблюдается ряд слабоинтенсивных пиков в области углов 2θ между 30° и 42°. Принимая во внимания рентгеновские дифракционные картины, мы предполагаем, что низкотемпературные пленки ($T_s < 300$ °C) являются аморфными, тогда как образцы, осажденные при $T_s > 300$ °C, состоят из кристаллических островков, погруженных в аморфную матрицу.

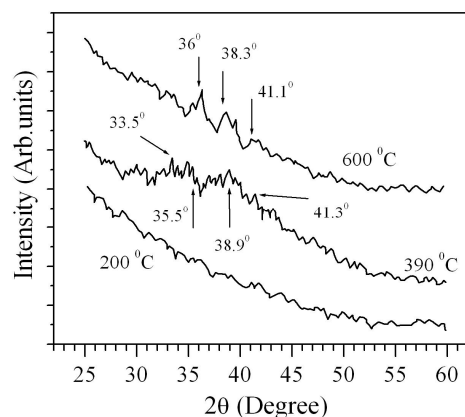


Рис. 1. Результаты рентгеноструктурных исследований a-SiC:H образцов.

Рис. 2 показывает влияние температуры T_s на величины H и E пленок a-SiC:H. Видно, что обе характеристики постепенно увеличиваются около 4 ГПа (H) и ~ 60 ГПа (E), когда T_s возрастает от 200 до 250 °C, а потом резко увеличивается до ~ 19 ГПа (H) и ~ 170 ГПа (E), когда T_s достигает 300-400 °C. Выше $T_s = 400$ °C, H и E слегка увеличиваются с ростом T_s . Рентгеноструктурный анализ показывает, что порог образования нанокристаллической структуры 300-400 °C. При достижении этих температур, величины H и E резко увеличиваются, что вызвано формированием наночастиц SiC.

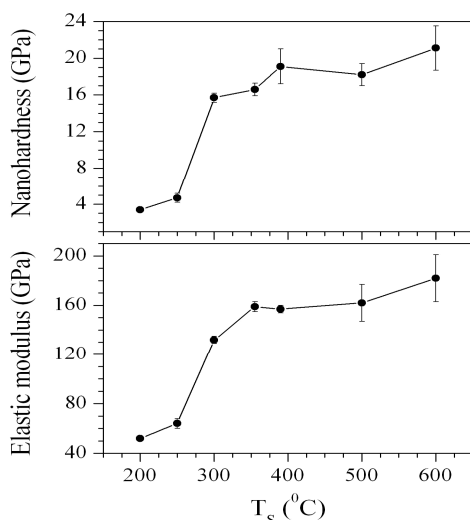


Рис. 2. Нанотвердость и упругий модуль как функции температуры осаждения, T_s .

Коэффициент абразивной износостойкости, $1/k$, пленок как функция температуры осаждения показан на Рис. 3. Как и ожидалось, пленка, полученная при 400 °C, демонстрирует максимальную стойкость против абразивного износа. Высокотемпературное покрытие показывает выше износ, чем пленки, осажденные при 200-400 °C. Это означает, что аморфные покрытия с небольшими кристаллическими островками являются наиболее стабильными против абразивного износа.

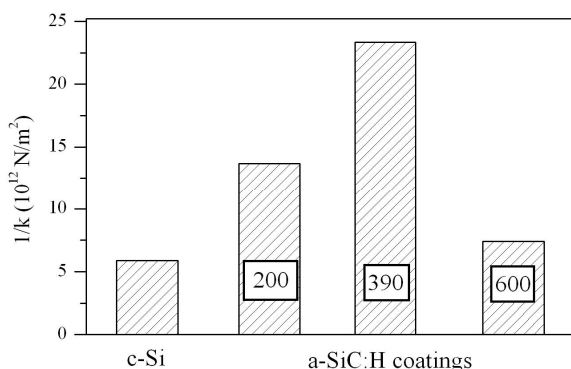


Рис. 3. Коэффициенты стойкости против абразивного износа, $1/k$, подложки из c-Si и пленок a-SiC:H.

Судя из типичной формы кратера, показанного на Рис. 4, можно сказать, что адгезия всех пленок хорошая и она усиливается с ростом T_s . Этот вывод согласуется с результатами тестов по наноиндентированию при высоких нагрузках (L).

Тесты при больших глубинах отпечатка обнаружили, что пленка, полученная при 200 °C, отслаивалась при $L = 40$ мН, тогда как высокотемпературные пленки не отслаивались при $L = 120$ мН.

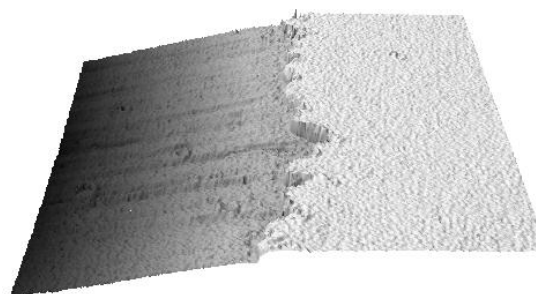


Рис. 4. Изображение участка кратера, полученного на приборе "Micron-alpha".

В заключение подчеркиваем, что полученные результаты подтвердили вывод о том, что износостойкость a-SiC:H пленок не всегда соотносится с твердостью и упругим модулем. Было найдено, что наноструктурные пленки, осажденные при 300-400 °C, являются наиболее эффективными против абразивного износа.

Работа поддержана контрактами CRDF # UK-U2-2589-KV-04 и STCU # 1590-C.

References

1. Bullot J. and Schmidt M. P. Physics of Amorphous Silicon-Carbide Alloys. Physica Status Solidi (b) 1987;143:345-418.
2. Esteve J., Lousa A., Martinez E., Huck H., Halac E. B. and Reinoso M. Amorphous Si_xC_x films: an example of materials presenting low indentation hardness and high wear resistance. Diamond & Related Materials, 2001;10:1053-1057.
3. M.A. El Khakani, M. Chaker, M.E. O'Hern and W.C. Oiver, Linear dependence of both the hardness and the elastic modulus of pulsed laser deposited a-SiC films upon their Si-C bond density. J. Appl. Phys. 1997; 82:4310-4318.
4. O.K. Porada, V.I. Ivashchenko, L.A. Ivashchenko, G.V. Rusakov, S.N. Dub and A.I. Stegnij, a-SiC:H films as perspective wear-resistant coatings. Surf. Coat. Techn., 2004; 180-18:122-126.