

Исследования структуры покрытий Ti-Al-C-N при лазерном отжиге

В.А. Зайков, А.И. Вишнеvский, Г.Д. Ивлев, О.Р. Людчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: valery48@tut.by

Покрытия Ti-Al-C-N формировались на кремниевых подложках методом реактивного магнетронного распыления (РМР) мишени Ti-Al в аргон-азот-ацетиленовой среде. Метод РМР позволяет успешно наносить покрытия сложного состава с заданными свойствами [1], а импульсная лазерная обработка (ИЛО) является эффективным способом модификации свойств покрытий [2].

Покрытия Ti-Al-C-N наносились на установке УВН 2М, оснащенной магнетронным распылителем, ионным источником «Радикал», системами нагрева и подачи смещения на подложку и системой контроля расхода рабочих газов, которая позволяет автоматически регулировать подачу инертного (аргон) и реактивных газов (азот и ацетилен), что позволяет стационарно поддерживать неравновесное состояние магнетронного разряда [3]. ИЛО покрытий Ti-Al-C-N проводилась в соответствии с методикой [2] с использованием рубинового лазера ($\lambda = 0,69$ мкм), работавшего в режиме генерации одиночных импульсов, длительность которых составляла 70 нс по уровню 0,5. Плотность энергии (W) облучения структуры TiAlCN/Si варьировалась в интервале от 0,5 до 1,3 Дж/см² с помощью нейтральных светофильтров. Неравномерность распределения W от импульса к импульсу не превышала $\pm 5\%$.

Состояние облученной поверхности образцов после ИЛО при $W \leq 0,5$ Дж/см² практически не отличалось от исходного. При повышении W в интервале от 0,65 до 0,8 Дж/см² эффект ИЛО становился заметным. Появлялся слабый оптический контраст зон лазерного воздействия на общем фоне поверхности пластины. Дальнейшее повышение W в интервале от 0,8 до 1,3 Дж/см² приводило к заметному увеличению оптического контраста и потемнению зоны облученной поверхности покрытия Ti-Al-C-N.

Энергодисперсионный рентгеновский микроанализ покрытий Ti-Al-C-N до и после ИЛО показывает, что соотношение между металлическими компонентами остается практически неизменным (Al/Ti изменяется от 0,92 до 0,95), а отношение металлической компоненты к реактивной компоненте (Al + Ti)/(C + N) увеличивается от 0,81 до 1,95 для всех значений W . Изменение соотношения (Al + Ti)/(C + N) после рекристаллизации объясняется преимущественным испарением более легких компонент N и C в процессе ИЛО.

На РЭМ микрофотографиях структуры TiAlCN/Si после ИЛО отчет-

ливо видна сетка трещин, возникающих вследствие растягивающих напряжений при рекристаллизации поверхности. Покрытия Ti-Al-C-N имеют столбчатую структуру, диаметр которых растет от подложки к поверхности. Обнаружено, что рост плотности энергии W приводит к уменьшению среднего диаметра столбцов после ИЛО.

Методами комбинационного рассеяния света (КРС) установлено, что спектры КРС исходного образца и образца после ИЛО покрытий Ti-Al-C-N состоят из трех групп полос. Первая группа вызвана акустическими переходами в диапазоне $200 - 400 \text{ см}^{-1}$ (TA и LA моды). Вторая группа полос соответствует оптическим переходам в диапазоне $550 - 750 \text{ см}^{-1}$ (TO и LO моды), а третья группа состоит из двух пиков, расположенных между 1250 и 1690 см^{-1} , соответствующих D и G пикам алмазоподобного и аморфного углерода [4]. Спектры КРС исходного образца и образца после ИЛО демонстрируют одну характерную особенность: интенсивность акустической моды колебаний покрытий Ti-Al-C-N выше оптической, что, на наш взгляд, связано с высокой плотностью дефектов кристаллической решётки, обусловленной как наличием второго металлического элемента, растворённого в металлической подрешётке, так и дефицитом неметаллических элементов в кристаллической решётке. Разделение оптических мод TO и LO между 600 и 700 см^{-1} после ИЛО, вероятно, указывает на то, что в результате отжига атомы C активно встраиваются в ГЦК решетку (Ti,Al)(C,N), занимая свободные вакансии атомов N и, соответственно, способствуют разделению оптических мод, что характерно для покрытий типа TiC [5]. Сравнение спектров КРС покрытий Ti-Al-C-N, TiN и TiC показывает, что включение атомов Al и C, которые легче Ti и N, приводит к смещению пиков комбинационного рассеяния в сторону более высоких частот.

Появление аморфной углеродной фазы в покрытиях Ti-Al-C-N при содержании углерода 13,5 ат. % наблюдалось авторами [5]. Эволюция положения G пика в сторону уменьшения волнового числа при росте W , а также уменьшение величины отношения интенсивностей D и G пиков указывают на увеличение доли аморфного углерода и уменьшение доли нанокристаллического углерода в процессе ИЛО.

1. Погребняк А.Д., Шпак А.П., Азаренков Н.А. // УФН. 2009. Т. 179., №1. С. 35-64.
2. Ивлев Г.Д. // Физика и техника полупроводников. 2003. Т. 37., №5. С. 622 – 628.
3. Климович, И.М. // Приборы и методы измерений. 2015. Т.6., № 2. С. 139-147.
4. Ferrari A.C. // Physical Review B. 2000. Vol. 61, No 20. P. 95 – 107.
5. Kuptsov K.A., Sheveyko A.N., Shtansky D.V // ActaMaterialia. 2015. No 83. P. 408–418.