

## КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В АЛМАЗНЫХ ПЛЕНКАХ

А.Е. Алексенко, В.С. Горелик, Б.В. Спицын, Т.Ф. Файзуллов

*Проведено сопоставление спектров комбинационного рассеяния света в нескольких твердотельных углеродных фазах и алмазных пленках, выращенных при различных условиях.*

В настоящее время разрабатываются методы получения алмазных и алмазоподобных пленок при низких давлениях в процессе ионно-плазменного потока /1/, а также путем осаждения их из активированной разрядом углеводород-водородной газовой фазы /2/. Получающиеся при этом углеродные пленки могут проявлять макроскопические характеристики (химическую стойкость, твердость, прозрачность в широком диапазоне спектра), свойственные алмазу. В то же время такие свойства сильно зависят от условий получения этих пленок: давления и состава исходных газов, температуры подложки и т. д. Это связано с возможностью образования нескольких углеродных фаз и химических соединений, существенно отличающихся от алмазной кристаллической фазы.

В настоящей работе приводятся результаты исследований методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) пленок, полученных в различных исследованиях.

Одним из характерных свойств искусственных алмазных образцов является проявление сильной люминесценции, возникающей за счет различного рода дополнительных уровней в запрещенной зоне, обусловленных примесями и дефектами. В связи с этим при получении спектров КР стандартными методами обнаруживается большой фон люминесценции, существенно превышающий уровень сигнала КР.

Для преодоления этой трудности в качестве источника возбуждающего излучения использовался импульсный лазер на парах меди. Такой лазер характеризуется двумя линиями генерации ( $\lambda = 510,6$  и  $578,2$  нм) и может работать с большой частотой следования ( $10^4$  Гц) импульсов генерации длительностью 20 нс. Средняя мощность лазера для каждой линии генерации составляла 1 Вт, пиковая —  $10^4$  Вт. Регистрация спектров проводилась на двойном монохроматоре ДФС-24 с использованием системы счета фотонов и многократного (6 — 10 раз) сканирования спектров. Кроме того, проводилось стробирование анализируемого сигнала рассеянного света с помощью строб-импульса длительностью 20 нс. Такой прием позволял осуществить разделение сигналов "долгоживущей" люминесценции, характерной для примесных углеродных пленок, и КР. При отсутствии системы стробирования и использовании в качестве источника возбуждающего излучения непрерывного ионного аргонового лазера сигнал люминесценции существенно превышал сигнал КР.

В работе проводилось исследование спектров КР алмазных пленок, полученных путем осаждения твердой углеродной фазы из активированной разрядом углерод-водородной газовой фазы на тугоплавкую металлическую подложку, нагретую до определенной температуры /2/. Многие физические свойства алмазных пленок в большой мере оказались зависящими от температуры подложек. В связи с этим представляло интерес сопоставить спектры КР пленок, полученных при нескольких температурах металлических подложек. Кроме того, было проведено сравнение полученных спектров КР в исследуемых алмазных пленках со спектрами так называемых алмазоподобных пленок, выращиваемых по методике /1/ и обсуждавшихся ранее в работе /3/.

На рис. 1 приводятся полученные спектры КР в графите (а), природном алмазе (б), алмазоподобной пленке (с) толщиной 50 нм, нанесенной на медную подложку по методике /1/, алмазной керамике "ОК-МАЛ" (д) и алмазной пленке (е) толщиной 15 мкм, нанесенной на эту керамику по методике /2/.

В спектре КР чистого алмаза в соответствии с правилами отбора присутствует лишь одна линия ( $1332$  см<sup>-1</sup>), соответствующая фундаментальному оптическому колебанию подрешеток (типа F<sub>2g</sub> группы O<sub>h</sub>).

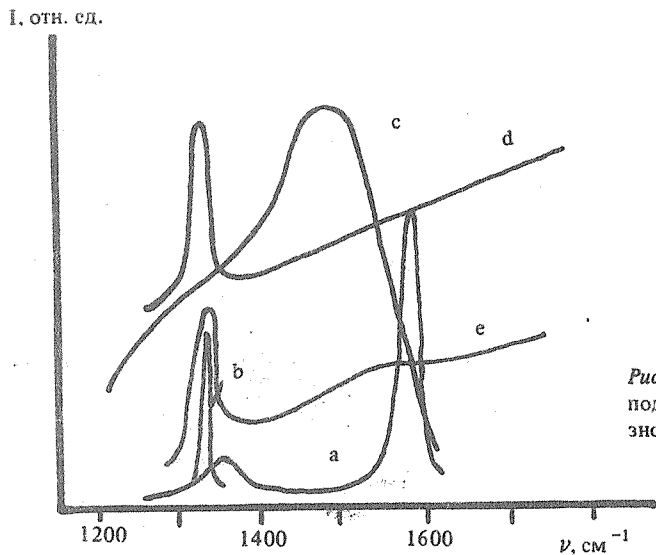
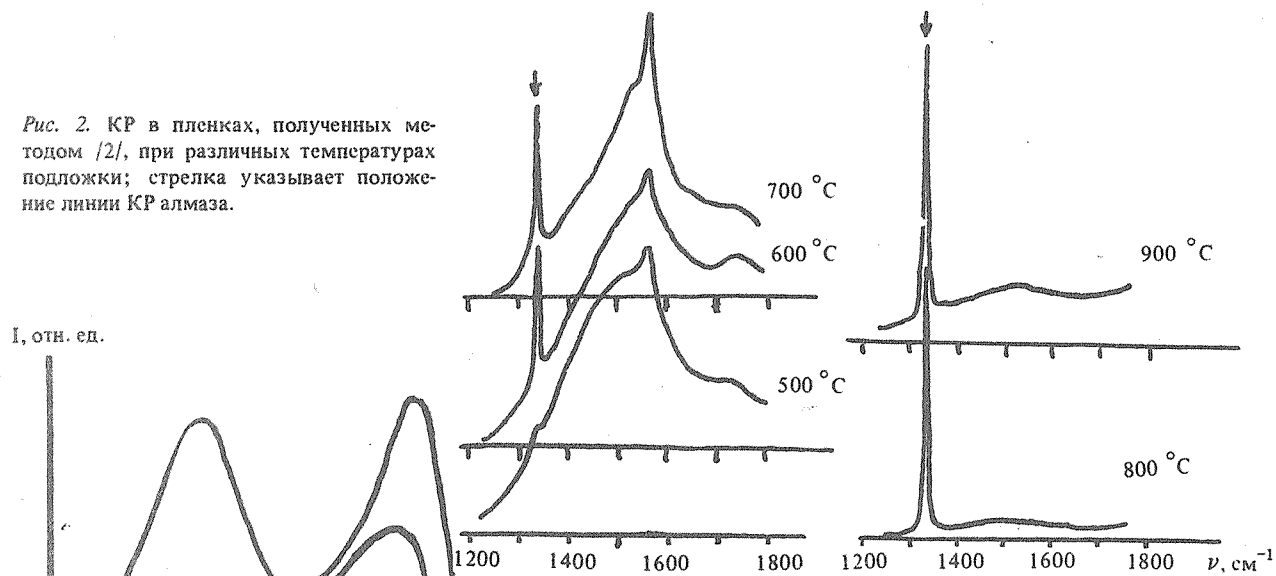


Рис. 1. Спектры КР в графите (а), алмазе (б), алмазоподобной пленке /1/ (с), алмазной керамике (d), алмазной пленке на алмазной керамике (е).

Рис. 2. КР в пленках, полученных методом /2/, при различных температурах подложки; стрелка указывает положение линии КР алмаза.



I, отн. ед.

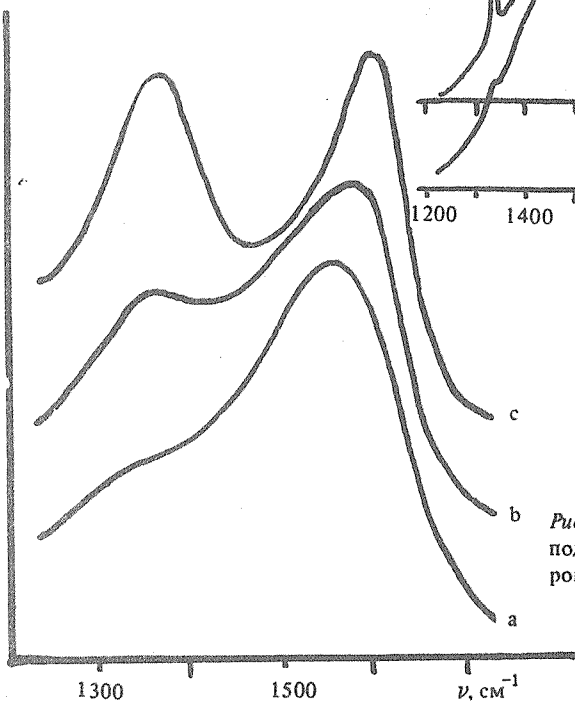


Рис. 3. Спектры КР в углеродных пленках; а – исходная алмазоподобная пленка, б – алмазоподобная пленка, облученная лазером на парах меди, с – пленка аморфного углерода.

В комбинационном спектре алмазоподобных пленок (рис. 1 с) обнаруживается широкая интенсивная полоса с максимумом в области  $1500 \text{ см}^{-1}$ ; кроме того, здесь присутствует диффузное асимметричное "плечо" с изломом в области  $1300 \text{ см}^{-1}$ , простирающееся до  $1000 \text{ см}^{-1}$ . Наличие излома можно интерпретировать как проявление колебательных состояний, характерных для кристаллического алмаза.

Для алмазной керамики (рис. 1 d) в спектре КР обнаруживается отчетливый максимум  $1330 \text{ см}^{-1}$ , коррелирующий с пиком  $1332 \text{ см}^{-1}$  чистого алмаза (рис. 1 b); однако ширина комбинационной линии в алмазной керамике составляет  $20 \text{ см}^{-1}$ , т. е. почти на порядок больше соответствующей ширины линии КР в природном монокристалле. В алмазной керамике проявляется также "короткоживущая" люминесценция, простирающаяся в область более высоких частот (рис. 1 d). В спектре КР углеродной пленки, нанесенной на алмазную керамику по методике /2/ (рис. 1 e), наряду с алмазным пиком обнаруживается полоса аморфного углерода ( $1500 \text{ см}^{-1}$ ).

На рис. 2 приводятся полученные спектры КР в углеродных пленках, выращенных методом /2/ при различных температурах на металлической подложке. Как видно, для  $T > 500 \text{ }^\circ\text{C}$  на всех спектрах присутствует линия алмаза ( $1332 \text{ см}^{-1}$ ), а также линия графита ( $1582 \text{ см}^{-1}$ ). При  $T = 500 \text{ }^\circ\text{C}$  алмазный пик  $1332 \text{ см}^{-1}$  оказывается едва заметным на фоне широкой полосы аморфного углерода;  $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$  соответствует наилучшему проявлению кристаллического алмаза.

Представляло интерес исследовать влияние лазерного излучения на свойства обсуждаемых углеродных фаз. В связи с этим было осуществлено облучение импульсными ( $\sim 10 \text{ нс}$ ) лазерами с различной пиковой мощностью ( $10^5 - 10^6 \text{ Вт}$ ) алмазных и алмазоподобных пленок, а также образцов кристаллического графита. Как выяснилось, в результате облучения графита существенных изменений в спектре КР не обнаруживается; в спектрах КР алмазных и алмазоподобных пленок после облучения возникает полоса, ответственная за наличие аморфного углерода. Рис. 3 иллюстрирует соответствующие изменения в спектре КР алмазоподобной пленки до (а) и после (b) облучения мощным лазером на парах меди (средняя мощность  $\sim 10 \text{ Вт}$ ) в течение нескольких минут. Воздействие лазерного излучения приводит к возрастанию интенсивности КР, характерного для аморфного углерода (рис. 3 с).

Таким образом, выполненные исследования спектров КР углеродных пленок, полученных из газовой фазы при низких давлениях /1, 2/, показали, что в зависимости от условий выращивания реализуются различные структурные состояния углеродных пленок: кристаллическая и аморфная фаза графита, фаза кристаллического алмаза с дефектами и фаза аморфного алмаза с ближним тетраэдрическим порядком. Наилучшие условия для получения пленок кристаллического алмаза методом /2/ обеспечиваются при температуре подложки  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Выполненные эксперименты по исследованию влияния интенсивного лазерного воздействия на структурное состояние углеродной фазы свидетельствуют о том, что при обсуждаемых режимах облучения происходит аморфизация кристаллической структуры. Представляет интерес поиск таких условий лазерного воздействия, при которых может быть реализован отжиг дефектов и упорядочение кристаллической структуры исследуемых пленок и углеродных твердотельных фаз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гришко Л. Б. и др. Электронная промышленность, № 4, 6 (1986).
2. Буйлов Л. Л. и др. ДАН СССР, 287, № 4, 888 (1985).
3. Буйлов Л. Л. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 29 (1986).

Поступила в редакцию 27 октября 1988 г.