

**КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В ПЛЕНКАХ УГЛЕРОДА,  
НАНЕСЕННЫХ НА РАЗЛИЧНЫЕ ПОДЛОЖКИ**Л.Л. Буйлов, В.С. Горелик, В.М. Елинсон, С.И. Сагитов,  
Б.В. Спицын, Т.Ф. Файзуллов

*Исследованы спектры комбинационного рассеяния углеродных алмазоподобных пленок на различных подложках. Установлены условия получения пленок с большой концентрацией алмазной фазы.*

Углеродные пленки, полученные при определенных технологических условиях, могут проявлять макроскопические характеристики (химическую стойкость, твердость и прозрачность), свойственные алмазу /1-6/. В настоящей работе была поставлена задача исследования спектров КР углеродных пленок, получаемых в различных технологических условиях, и определения их фазового состава по наблюдаемым спектрам КР.

Исследовались углеродные пленки, нанесенные на подложки из плавленого кварца, монокристаллического кремния, а также некоторых металлов и керамики. Для сравнения использовались также спектры КР алмаза, графита, алмазной керамики "ОКМАЛ" и полиэтилена. Изучались углеродные пленки, выращенные на различных подложках методом направленного ионно-плазменного потока /5/, а также при осаждении из активированной разрядом углеводород-водородной газовой фазы /6/.

Спектры КР в исследуемых материалах возбуждались с помощью лазера на парах меди и регистрировались по методике, описанной в работе /7/. На рис. 1 приведены полученные спектры КР в графите (а), алмазе (б), углеродной пленке толщиной 50 нм, нанесенной на медную подложку (в), алмазной керамике "ОКМАЛ" (г) и алмазной пленке толщиной 15 мкм, нанесенной на эту керамику (д).

Для алмаза, в соответствии с правилами отбора /8, 9/, в спектре КР обнаруживается одна интенсивная линия с частотой  $1332 \text{ см}^{-1}$ , обусловленная фундаментальной модой типа  $F_{2g}$ .

Для пленок, полученных методом направленного ионно-плазменного потока (рис. 1в), обнаруживается интенсивный максимум в области  $1500 \text{ см}^{-1}$ , характерный для графита и аморфного углерода, и асимметричное "плечо", простирающееся вплоть до  $1000 \text{ см}^{-1}$ . Отметим, что о наличии такого "плеча" ранее сообщалось для пленок, осажденных на холодную (77 К) подложку, а затем подвергнутых термическому отжигу в течение нескольких десятков часов /3/. В зависимости от условий отжига углеродных пленок изменялась интенсивность этого "плеча"; соответственно изменялись твердость и прозрачность, которые в ряде случаев приближались к соответствующим значениям для алмаза. Аналогичный вид спектра КР наблюдался также для пленок, полученных в данной работе методом /5/ на подложках из плавленого кварца и кристаллического кремния. Из сравнения кривых б и в рис. 1 следует, что структура обсуждаемых пленок существенно отличается от алмазной, так как резкий пик с частотой  $1332 \text{ см}^{-1}$  для таких пленок отсутствует. Для алмазной керамики (рис. 1г) обнаруживается интенсивный максимум с частотой около  $1330 \text{ см}^{-1}$ . Ширина этого максимума почти на порядок превышает ширину соответствующей линии КР в монокристаллическом алмазе и составляет около  $20 \text{ см}^{-1}$ . Для алмазной поликристаллической пленки толщиной 15 мкм, нанесенной на алмазную керамику, наблюдается резкий максимум в области  $1330 \text{ см}^{-1}$  и слабая широкая полоса в области  $1500 \text{ см}^{-1}$ . Эту полосу можно отнести за счет аморфного графита, содержащегося в пленке в небольшом количестве.

На рис. 2 приведены спектры КР, соответствующие пленке толщиной 45 мкм, полученной методом /6/ на подложке из кристаллического кремния. Кривые а и б соответствуют двум различным усилениям в системе регистрации. В спектре имеется резкий максимум с частотой  $1332 \text{ см}^{-1}$ , характерной для фундаментального колебания в алмазе. Ширина этой линии КР почти втрое меньше соответствующей ширины линии для алмазной керамики (рис. 1г). Кроме "алмазного" пика в спектре на рис. 2 присутствует также

слабая полоса в области, соответствующей аморфному графиту ( $1500\text{ см}^{-1}$ ). Из соотношения интенсивностей этих максимумов можно сделать вывод о том, что содержание алмазной фазы в обсуждаемых пленках на один — два порядка превышает содержание графитной фазы.

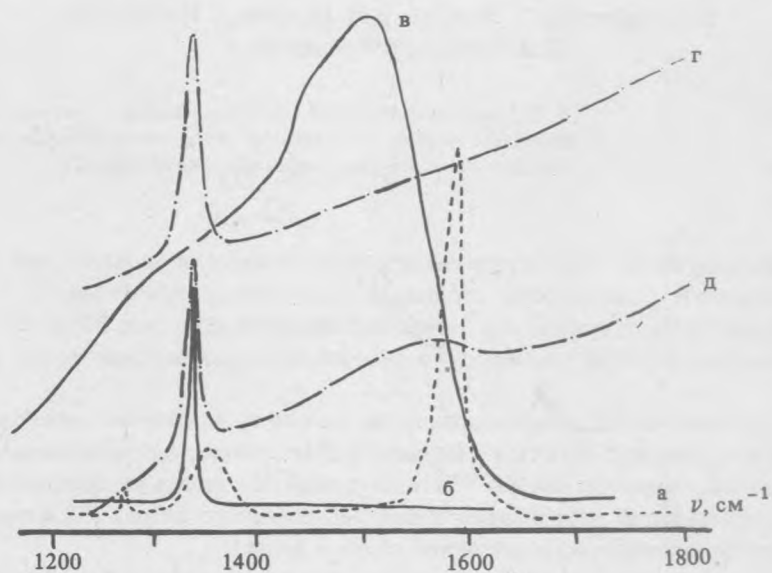


Рис. 1. Спектры комбинационного рассеяния графита (а), алмаза (б), углеродной пленки толщиной 50 нм, нанесенной на медную подложку (в), алмазной керамики "ОКМАЛ" (г), алмазной пленки толщиной 15 мкм, нанесенной на подложку из "ОКМАЛ" (д).

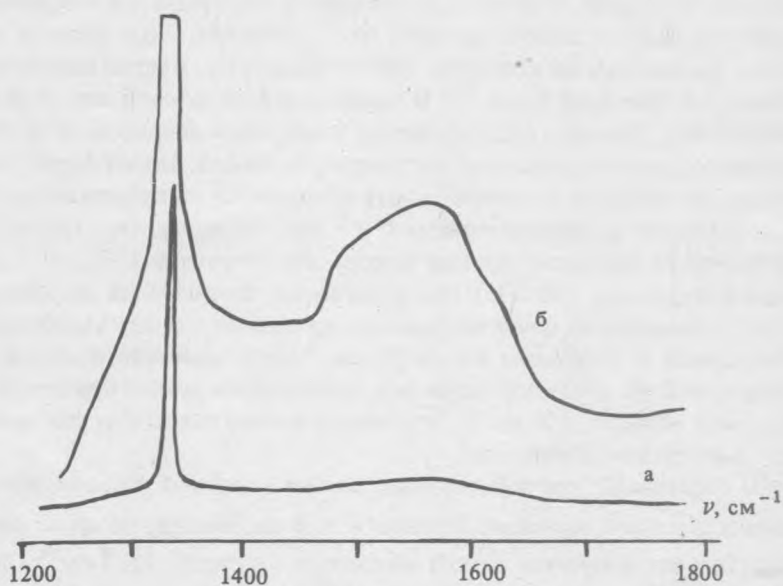


Рис. 2. Спектр КР алмазной пленки толщиной 45 мкм на кремниевой подложке; (б) усилено в 10 раз по сравнению с (а).

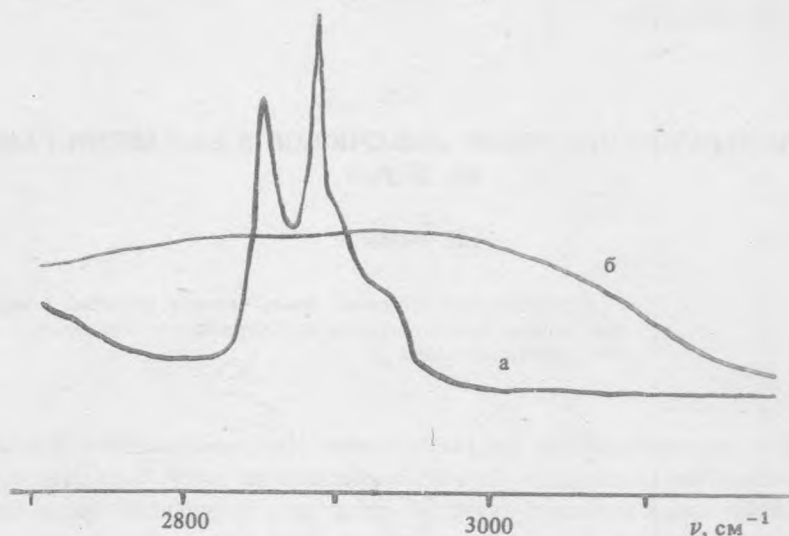


Рис. 3. Спектры КР пленки из полиэтилена толщиной 1 мкм (а) и углеродной пленки толщиной 0,5 мкм (б).

Для всех исследованных образцов источником углерода, наносимого в виде пленки, является тот или иной углеводород. Это обуславливает возможность внедрения в растущую пленку атомов водорода. Было проверено образует ли водород, если он внедряется в пленки в процессе роста, связи типа С—Н. С этой целью в характерной для валентных колебаний С—Н области частот ( $2700 \div 3200 \text{ см}^{-1}$ ) проводилось сравнение спектров изучаемых углеродных пленок и полиэтилена, который является типичным углеводородом, содержащим эти связи. На рис. 3а приведен спектр КР полиэтиленовой пленки с эквивалентной толщиной 1 мкм в области валентных колебаний С—Н. Отчетливо видна группа характерных для этих колебаний линий. На рис. 3б показан участок спектра, полученный при тех же условиях для углеродной пленки толщиной 0,5 мкм, нанесенной на подложку из плавленого кварца методом /5/. Отсутствие характерных линий в этом случае свидетельствует о малой концентрации (менее 1%) связей С—Н.

Выполненные экспериментальные исследования показывают, что углеродные пленки осаждаются на подложки при рассматриваемых технологических условиях в виде полифазных систем. Структура пленок проявляется в спектрах КР. Ситуация, когда реализуется преимущественно алмазная модификация углеродной пленки, резко выделяется характерными особенностями в спектре. Таким образом, исследования спектров КР открывают возможность определения концентрации дополнительных фаз в алмазоподобной пленке и оптимизации используемых технологических процессов для повышения качества получаемых пленок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кардона М. В сб. "Рассеяние света в твердых телах", вып. II, под ред. М. Кардоны и Г. Гюнтеродта, М., Мир, 1984, с. 35.
2. Hauser J.J. J. Non-Cryst. Solids, 23, 21 (1977).
3. Wada N., Gaczi P.J., Solin S.A. J. Non-Cryst. Solids, 35, 543 (1980).
4. Балаков А.В., Коншина Е.А. ОМП, № 9, 52 (1982).
5. Гришко Л.Б. и др. Электронная промышленность, № 4, 6 (1986).
6. Буйлов Л.Л. и др. ДАН СССР, 287, № 4, 888 (1985).
7. Горелик В.С. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 38 (1986).
8. Уилкинсон Г.Р. В сб. "Применения спектров комбинационного рассеяния", под ред. А. Андерсона, М., Мир, 1977, с. 408.
9. Tuinstra F., Koenig J.L. J. Chem. Phys., 53, № 3, 1126 (1970).

Поступила в редакцию 25 июня 1986 г.