

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ

Л.П. Феоктистов, В.В. Климов, А.Л. Феоктистов

*Предложено использовать излучение лазера для осуществления фазового перехода графит-алмаз. Показано, что при энергиях лазерного импульса в сотни килоджоулей возможно получение монокристаллов алмаза диаметром более 1 см.*

Синтетические алмазы впервые были получены в Швеции в 1953 году при воздействии на графит высоких статических давлений и температур. Использование методики такого рода позволяет, в принципе, получать достаточно крупные монокристаллы алмазов, для чего, однако, требуются экспозиции в десятки и сотни часов, что приводит к тому, что их стоимость оказывается выше стоимости природных.

Для ускорения синтеза алмазов были предприняты попытки использовать еще более высокие давления, которых в то время можно было достичь только при воздействии на графит ударных волн. В 1961 году эти попытки увенчались успехом /1/, но алмазы, получаемые этим путем, также были весьма мелкими.

За истекшие 30 лет было проведено много исследований, направленных на выявление факторов, влияющих на фазовый переход графит-алмаз при воздействии импульсных высоких давлений (см., например, /2/). В результате этих исследований было установлено, что главными причинами, препятствующими образованию крупных алмазов при ударных воздействиях, являются:

- 1) слишком высокие конечные температуры образующихся алмазов, что приводит к обратной графитизации;
- 2) нерегулируемый процесс разгрузки, приводящий к механическому разрушению образующихся кристаллов.

Уменьшить влияние этих факторов можно лишь а) исключив образование сильных ударных волн сжатия; б) управляя режимом разгрузки.

Заметим, что при доступности высоких давлений снижение температуры получающихся алмазов может быть достигнуто их предварительным охлаждением, и что использование обычных методик ударного сжатия (ВВ, метание пластин и т.д.) не может удовлетворить этим требованиям.

Мы предлагаем для исключения перегрева и механического разрушения при разгрузке

использовать лазерное излучение специальной пространственно-временной структуры.

Использование лазеров для получения крупных синтетических алмазов удобно в двух отношениях. Во-первых, лазерное излучение способно создавать давления до десятков Мбар, что невозможно при использовании иных методов и что важно для регулирования скорости фазового перехода и других целей. Во-вторых, можно считать лазерную технологию разработанной настолько, что возможно создание поля произвольной пространственно-временной структуры.

Применительно к синтезу алмазов следует, по-видимому, сферически-симметричную графитовую мишень подвергнуть воздействию сферически-симметричного лазерного импульса, позволяющего безударным образом достичь области давлений, при которых происходит фазовый переход (более 200 кбар), сохранить эти давления в течение времени прямого перехода графит — алмаз (0,1 мкс) и плавно снять давление для сохранения монокристалла алмаза.

Для оценки необходимой для этого энергии излучения рассмотрим падение сферически-симметричного лазерного импульса на сферическую графитовую мишень. Как и при лазерном термоядерном синтезе, излучение будет испарять поверхность мишени и формировать импульс давления.

В нашем случае процесс сжатия графита можно рассматривать как квазистационарный, так как скорость звука в графите  $c_g = 4,5$  км/с существенно меньше скорости звука в плазменной короне  $c \approx 100$  км/с. Это позволяет воспользоваться хорошо разработанной теорией "квазистационарной короны" /3/ для проведения оценок.

Из /3/ следует, что картина явлений в короне существенно зависит от безразмерного параметра

$$\gamma_0 = \frac{\kappa_0^{3/4} q_0}{\rho_{cr}^{7/4} R_0^{3/4}} \left( \frac{M_i}{Z} \right)^{21/8},$$

где  $\kappa_0$  — коэффициент электронной теплопроводности;  $Z = 6$  — кратность ионизации;  $q_0$  — поток энергии лазера;  $\rho_{cr}$  — критическая плотность;  $R_0$  — радиус мишени;  $M_i$  — масса ионов,  $R_0$  — радиус алмаза. Для определенности далее будет рассмотрен случай:  $\lambda = 1,06$  мкм,  $\rho_{cr} = 3,37 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>.

В наших условиях, то есть при давлениях порядка 1 Мбар, температурах порядка 0,1 кэВ, размерах мишени порядка 1 см, легко видеть, что  $\gamma_0 \ll 1$  и, следовательно (см. /3/), положение критической поверхности совпадет с положением поверхности Жуге, на которой скорость разлета плазмы совпадет с местной скоростью звука. В этом случае давление на поверхности мишени

будет определяться выражением:  $P_0 = (2/3^{2/3})q_0^{2/3}\rho_{cr}^{1/3}$ , откуда, задаваясь давлением перехода, можно найти необходимую плотность потока:

$$q_0 = (3/2^{3/2})P_0^{3/2}\rho_{cr}^{1/2}.$$

Далее, зная плотность потока излучения и время фазового перехода (который предполагается мартенситным)  $\tau_0 = R_0/c_g$ , легко найти энергию лазера  $E$ , необходимую для осуществления синтеза,  $E = 4\pi P_0^2 q_0 \tau_0$ , или, если измерять энергию в МДж, давление в Мбар, а радиус полученного алмаза в см,

$$E = 50R_0^3 P_0^{3/2}.$$

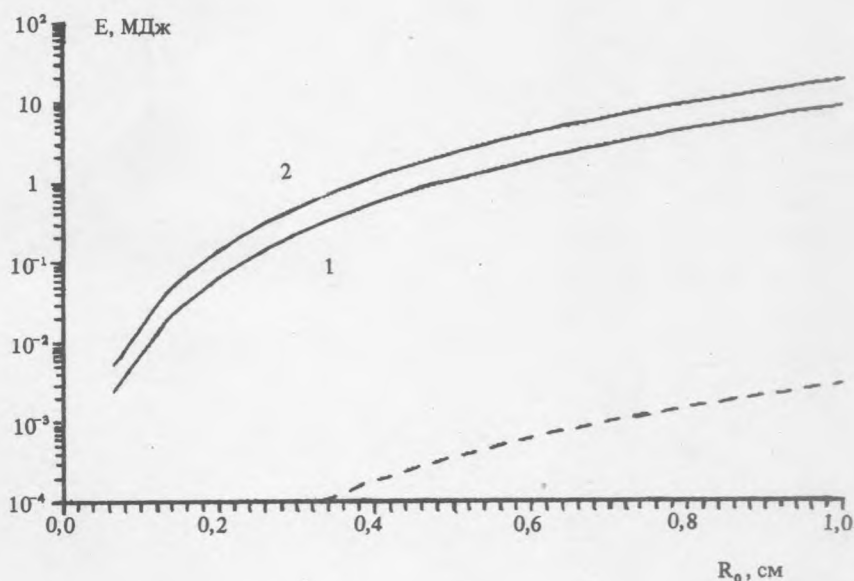


Рис. 1. Зависимость необходимой для синтеза энергии импульса  $E$  от радиуса получаемого алмаза  $R_0$  при давлениях 300 кбар (1), 500 кбар (2).

На рис. 1 показана зависимость энергии импульса от радиуса алмаза при максимальных давлениях в 300 кбар (нижняя граница перехода) и 500 кбар, откуда следует, что при энергиях импульса уже в сотни кДж возможно получение алмазов радиусом до 1 см (пунктирной линией показана разность энергий кристаллических решеток алмаза и графита).

Полученные результаты являются, конечно, лишь качественными. Результаты более детальных расчетов энергии лазера и, что особенно важно, временной формы импульса будут приведены в отдельной публикации.

Авторы выражают благодарность Ю.В. Афанасьеву и О.Н. Крохину за ценные критические замечания, высказанные в процессе обсуждения настоящей работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alder В.Ј., Christian R.H. Phys. Rev. Lett., 7, 367 (1961).
2. Поляков В.П., Ножкина А.В., Чириков Н.В. Алмазы и сверхтвердые материалы. М., Металлургия, 1990.
3. Афанасьев Ю.В. и др. ЖЭТФ, 71, 594 (1976).

Поступила в редакцию 23 марта 1992 г.

После переработки 12 октября 1992 г.

