

Характер структуры прессовок в сочетании с обнаруженными в [1] разупорядочением и частичной аморфизацией кристаллической структуры фаз  $\text{Bi} - 2223$  и  $\text{Bi} - 2212$ , образующих сверхпроводящую матрицу керамики  $\text{Bi} - 1112$ , оказывает несомненное влияние на сверхпроводящие характеристики последней, в частности может обуславливать отсутствие в прессовках в состоянии после ВК сверхпроводящих переходов при охлаждении до 65 К. По-видимому, именно различиями в структуре прессовок исходного состава  $\text{Bi} - 1112$ , исследованных в [1, 3], объясняются существование сверхпроводящего перехода после ВК в прессовках [3] и отсутствие сверхпроводящих переходов в прессовках [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Епанчинцев О. Г., Колесников Д. П., Корнеев А. Е. и др. Изменение структуры сверхпроводящей керамики состава  $\text{Bi} - 1112$  при взрывном компактировании и последующей термообработке // ФГВ.— 1990.— 26, № 3.— С. 128—130.
2. Бушуева В. К., Епанчинцев О. Г., Филатов В. М. и др. Металлографический анализ прессовок из оксидной ВТСП-керамики  $\text{Y} - \text{Ba} - \text{Cu} - \text{O}$  // Сверхпроводимость: Физика, химия, техника.— 1990.— № 9.
3. Матизен Э. В., Нестеренко В. Ф., Першин С. А. и др. // Влияние взрывной обработки на сверхпроводящие свойства системы  $\text{Bi} - \text{Sr} - \text{Ca} - \text{Cu} - \text{O}$ .— Новосибирск, 1989.— (Препр./СО АН СССР, ИНХ; 89-21).

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 17/VII 1990

УДК 533.9.088.8

Ю. Л. Бакшаев, П. И. Блинов, Г. И. Долгачев

#### ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВА ВВ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Изучалось воздействие импульсного электронного пучка на ВВ в вакууме и показана возможность инициировать взрыв в тонком ( $\sim 10^{-2}$  см) поверхностном слое ВВ за время менее 100 нс.

Мощные электронные пучки (ЭП), получившие применение в исследовании по управляемому термоядерному синтезу, для генерации СВЧ- и лазерного излучения и других технологических приложений, представляется возможным использовать для инициирования взрыва ВВ. Такой способ подрыва может оказаться удобным при формировании плоских и особенно сходящихся (например, сферических) детонационных волн (ДВ), представляющих большой интерес для получения высоких давлений. Кроме того, применение ЭП, как и лазерных пучков [1], для инициирования взрыва обладает несомненными достоинствами при измерении характеристик ВВ (скорости ДВ, ширины зоны реакции, минимальной энергии инициирования и т. д.), так как позволяет сообщать ВВ энергию в легко контролируемых количествах за времена, измеряемые десятками наносекунд.

Первое упоминание о использовании ЭП для инициирования взрыва приводится в [2]. Для этого пучок электронов с энергией 1 МэВ длительностью 30 нс выпускался сквозь титановую фольгу и падал на таблетку ВВ, помещенную в алюминиевую оболочку. Настоящая работа посвящена исследованию возможности инициирования взрыва ВВ электронным пучком в вакууме.

Опыты проводились с ВВ, применяемым в капсулах для охотничьих ружей и представляющим смесь из крупинок гремучей ртути, бертолетовой соли и сурьмы (ГОСТ 7574-71). Размер крупинок 0,04—0,1 мм.

Для инициирования взрыва использовался импульсный пучок электронов с энергией 160 кэВ, плотностью тока (0,1—5) кА/см<sup>2</sup> и длительностью импульса до 400 нс. Эксперименты проводились в вакуумной камере ускорителя при давлении  $10^{-5}$ — $10^{-4}$  Торр. Определялись минималь-

ная энергия, вызывающая детонацию ВВ, скорость ДВ и истечения продуктов реакции.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Капсюль, состоящий из корпуса 6, с запрессованной в нем таблеткой ВВ 5 устанавливался на баллистическом маятнике 4. Электронный пучок 8 создавался в вакуумном диоде, образованном взрывоэмиссионным катодом 9 и анодом 7 из нержавеющей стали с отверстием в середине для прохождения пучка. Первая пластина анода служила вытягивающим электродом, вторая — коллиматором. Ток пучка измерялся шунтом 2, а напряжение на катоде — омическим делителем.

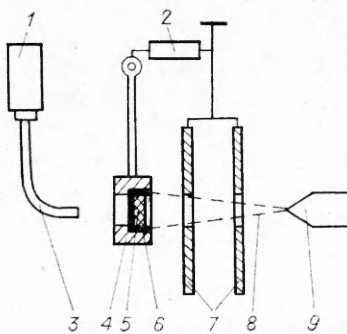


Рис. 1. Схема эксперимента.

Меняя диаметр отверстий в аноде, расстояние катод — анод или напряжение на катоде, можно было регулировать мощность падающего пучка. О детонации ВВ судили по отклонению баллистического маятника. Одновременно с осциллограммами напряжения и тока пучка записывался сигнал с фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 1, на который по световоду 3 попадал свет с тыльной стороны таблетки ВВ. Для этого в донышке капсюля просверливалось отверстие диаметром 0,5 мм, а между донышком и таблеткой ВВ помещался диск из оргстекла толщиной 1 мм. По времени запаздывания сигнала с ФЭУ относительно импульса напряжения можно определить скорость ДВ.

В опытах использовались стандартные таблетки ВВ толщиной 0,4 мм (масса 30 мг), а также таблетки толщиной от 0,1 до 2 мм, полученные запрессовкой массы ВВ в капсюль под давлением 2000 атм. Плотность ВВ составляла 3,2 г/см<sup>3</sup>.

В опытах на воздухе с помощью накаленной проволоочки или электрической искры удается вызвать медленное горение таблетки ВВ без его перехода во взрыв. Такой же результат наблюдается при облучении в вакууме ВВ струей раскаленных газов от взрыва второго капсюля. Деформации капсюля и отклонения маятника при этом не происходит. Эти результаты согласуются с данными работы [3], где показано, что при атмосферном давлении подожженная накаленной проволоочкой гремучая ртуть горит со скоростью 1,5 см/с без перехода во взрыв, при понижении давления скорость горения уменьшается. Слабым ударом по капсюлю со стороны ВВ удается вызвать взрыв, сопровождающийся хлопком, однако капсюль при этом также не деформируется.

С помощью электронного пучка инициируется взрыв ВВ, сопровождающийся отклонением баллистического маятника и деформацией корпуса капсюля (рис. 2). Величина деформации капсюля и отклонение маятника зависят только от количества ВВ и не меняются при изменении энергии пучка, вкладываемой в таблетку ВВ. Минимальная плотность энергии пучка, при которой еще происходит взрыв, не превышает 1 Дж/см<sup>2</sup> при плотности тока около 100 А/см<sup>2</sup> и не зависит от толщины слоя ВВ. Вызвать горение ВВ без взрыва уменьшением мощности пучка не удастся. Вероятно, взрыв капсюля начинается с разложения гремучей ртути, как наиболее чувствительного ВВ. Пролет электронов с энергией 0,16 МэВ в ней составляет  $3 \cdot 10^{-2}$  г/см<sup>2</sup>. Отсюда находим, что минимальная энергия, приводящая к взрыву, составляет ~100 Дж/г. Это не только много меньше энергии взрыва гремучей ртути (1,7 кДж/г), но и в несколько раз меньше энергии активации (370 Дж/г) [3]. На это же обстоятельство указывается в [2].

Так как длина пробега электронов (~0,1 мм) значительно меньше толщины слоя ВВ, то при определении скорости ДВ  $V$  можно считать, что детонация начинается на облучаемой пучком поверхности ВВ. На рис. 3 приведены типичные осциллограммы импульса напряжения. Применялся ФЭУ типа СНФТ-3 с временным разрешением 4 нс [4]. Суммарное время нарастания прямоугольного сигнала в электрической цепи



Рис. 2. Корпус капсуля до взрыва (а), после взрыва таблетки ВВ толщиной 0,4 (б) и 0,8 мм (в) (отверстие просверлено для вывода света).

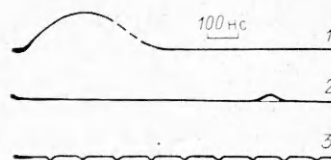


Рис. 3. Осциллограммы напряжения на катоде (1) и сигнала с ФЭУ (2).

ФЭУ — осциллограф  $\leq 10$  нс. Время между моментом подачи светового импульса и моментом появления электрического сигнала с ФЭУ найдено в дополнительном эксперименте с лазерным импульсом длительностью  $\sim 15$  пс и составило  $t_1 \approx 45$  пс. Время запаздывания сигнала с ФЭУ относительно импульса напряжения на диоде  $t_2$  включает в себя, кроме собственного времени ФЭУ, времена пробега ДВ и развития детонации в облучаемом слое ВВ. При больших толщинах ВВ последней величиной можно пренебречь. Тогда получим нижний предел скорости ДВ

$$V \leq h(t_2 - t_1),$$

где  $h$  — толщина ВВ. При  $h = 2$  мм  $V \leq 2 \cdot 10^5$  см/с. Для сравнения заметим, что приводимое в литературе значение  $V$  для гремучей ртути колеблется от  $1,6 \cdot 10^5$  [5] до  $4,9 \cdot 10^5$  см/с [6]. При малых толщинах ВВ можно пренебречь временем пробега ДВ, тогда  $t_2$  дает верхнее значение времени развития детонации. В данном эксперименте оно несколько меньше 100 пс.

По скорости детонационной волны и длительности сигнала  $\Delta t$  с ФЭУ можно найти ширину зоны реакции ДВ  $d$ . Поскольку длительность сигнала с ФЭУ практически не зависела от толщины таблетки, из рис. 3 находим  $\Delta t \approx 50$  пс, отсюда  $d \approx 10^{-2}$  см. Ширина зоны реакции в 1,5 раза превышает средний размер крупинки, из которых состоит ВВ. Направленная скорость продуктов реакции, найденная по углу отклонения баллистического маятника, равняется  $4 \cdot 10^4$  см/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е. И., Вознюк А. Г. Иницирование азидов свинца лазерным излучением // ФГВ.— 1978.— 14, N 4.— С. 86—91.
2. Phung P. V. Initiation of explosives by high energy electrons // J. Chem. Phys.— 1970.— 53, N 7.— P. 2506—2513.
3. Андреев К. К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ.— М.: Наука, 1966.
4. Берковский А. Г., Веретенников А. И., Гусельников В. Г. и др. Фотоумножители с высоким временным разрешением и большими выходными токами // ПТЭ.— 1976.— N 2.— С. 152—156.
5. Боуден Ф. П., Ноффе А. И. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах.— М.: И. Л., 1955.
6. Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Поведение металлов при импульсивных нагрузках.— М.: И. Л., 1958.

г. Москва

Поступила в редакцию 5/IV 1989,  
после доработки — 15/III 1990

УДК 534.222.2

С. М. Фролов, Б. Е. Гельфанд

### ПРЕДЕЛЬНЫЙ ДИАМЕТР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ В ТРУБАХ

Используемый на практике эмпирический критерий предела газовой детонации подтверждается одномерной теорией пределов, учитывающей потери импульса и энергии из зоны реакции детонационной волны. Полученные результаты показы-

© 1991 Фролов С. М., Гельфанд Б. Е.