

## ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

А.Я. В о р о б ь е в

Экспериментально исследована суммарная энергия, выделяемая при действии импульсного лазерного излучения на твердые тела в условиях оптического пробоя. Опыты проводились с помощью калориметра (рис. 1), представляющего собой изготовленную из нержавеющей стали цилиндрическую полость 1, дно 2 которой являлось исследуемым образцом. Благодаря наклону образца относительно оси цилиндра и достаточной длины последнего, обеспечивалось практически полное поглощение лазерного излучения калориметром за счет многократных отражений света внутри полости. Острый угол между образцом и осью цилиндра составлял  $60^\circ$ . Излучение 3 неодимового лазера с длительностью импульса  $\sim 50$  нс и энергией  $\sim 1$  Дж фокусировалось с помощью линзы внутрь цилиндрической полости на исследуемый образец. Диаметр пятна фокусировки составлял 1.5 мм. Расстояние разлета плазмы 4 от образца было значительно меньше длины цилиндра, поэтому практически вся энергия, выделяемая в факеле, передавалась, в конечном счете, стенкам калориметра и вызывала его нагрев. Приращение температуры калориметра измерялось проволочным термометром сопротивления 5. Калибровка осуществлялась с помощью электронагревателя 6, через который пропускался импульс электрического тока с известной энергией. Погрешность калориметра не превышала  $\pm 10\%$ . Одновременно с измерениями энергии  $E_1$ , выделяемой в калориметре в результате действия лазерного излучения на исследуемое твердое тело, определялась энергия  $E_2$  падающего лазерного импульса.  $E_2$  измерялась ответвлением стеклянной пластинкой части падающего лазерного излучения на измеритель энергии ИМО-2Н. Возникновение плазмы регистрировалось с помощью ФЭУ по появлению излучения в спектральной области 330-460 нм из зоны облучения образца. По измерениям  $E_1$  и  $E_2$  определялся коэффициент энерговыделения процесса взаимодействия лазерного излучения с исследуемым твердым телом  $K = E_1/E_2$  в зависимости от плотности энергии падающего лазерного импульса  $F = E_2/S$ , где  $S$  - площадь пятна фокусировки лазерного излучения на исследуемом образце. Опыты проводились в воздухе атмосферного давления. Исследовались мишени из магния, титана и эбонита. Пересчет  $F$  в плотность мощности в максимуме лазерного импульса  $I$  осуществляется по формуле  $I$  [МВт/см<sup>2</sup>] = 16.7 [МВт/Дж] ·  $F$  [Дж/см<sup>2</sup>].

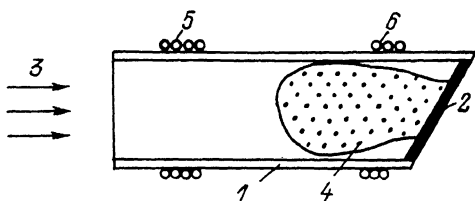


Рис. 1. Калориметр для измерения суммарной энергии, выделяемой в результате воздействия мощного лазерного излучения на твердое тело: 1 - цилиндр из нержавеющей стали, 2 - облучаемый образец, 3 - падающее лазерное излучение, 4 - плазма, 5 - проволочный термометр сопротивления, 6 - электронагреватель для калибровки.

Результаты измерений  $K(F)$  представлены на рис. 2. В области малых  $F$ , не вызывающих эрозии поверхности образцов, коэффициент энерговыведения исследованных веществ равен коэффициенту поглощения лазерного излучения калориметром и по величине не превышает единицы. Резкий рост  $K$  для образца из магния (кривая 1) начался при возникновении на его поверхности первых следов повреждения ( $F=0.5$  Дж/см<sup>2</sup>). При этом из зоны облучения появлялось излучение в спектральной области 330–460 нм. В случае титана (кривая 2) первые следы повреждения наблюдались при  $F=1.1$  Дж/см<sup>2</sup>, а сигнал с ФЭУ и рост  $K$  возникали при  $F=1.9$  и 4.8 Дж/см<sup>2</sup> соответственно.

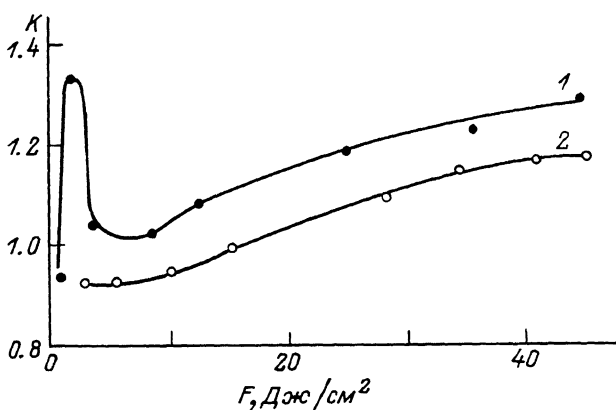


Рис. 2. Зависимость коэффициента энерговыведения  $K$  от плотности энергии падающего лазерного излучения  $F$ : 1 - магний, 2 - титан.

Воспринимаемый на слух шелчок, свидетельствующий о переходе процесса взаимодействия в режим световой детонации, возникал при  $F=2.9$  и  $3.4$  Дж/см<sup>2</sup> для магния и титана соответственно. Как видно из рис. 2, коэффициент энерговыделения магния и титана принимает значения больше единицы на величину, превышающую погрешность измерений, что указывает на дополнительное выделение энергии. Более значительное энерговыделение наблюдалось для эбонита. Коэффициент  $K$  этого материала достигал величины 1.5.

Таким образом, полученные результаты показывают, что при действии на твердое вещество импульсного лазерного излучения выделяется дополнительная энергия, величина которой может составлять значительную часть энергии лазерного импульса. Возможным механизмом наблюдаемого дополнительного энерговыделения являются экзотермические реакции окисления поверхности образца и испаренного вещества. В случае магния об этом свидетельствует осаждение на внутренней поверхности цилиндрической полости налета белого цвета, характерного для соединения  $MgO$ . Следует отметить, что теоретическая модель парофазного окисления металлов при действии коротких лазерных импульсов рассмотрена в [1].

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Акимов А.Г., Бонч-Бруевич А.М., Ггарин А.П., Дорофеев И.А., Дорофеев В.Г., Казанский Л.П., Либенсон М.Н., Пудков С.Д., Широков В.Ф. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 18. С. 1093-1098.

Харьковский государственный университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию  
20 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18 26 сентября 1989 г.  
06.2

#### ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С БАРЬЕРОМ ШОТКИ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $InGaAs/InP$

С.И. Радауцан, Г.Л. Ляху, А.П. Снигур,  
В.А. Чумак, В.Г. Лапин, А.М. Маринова,  
К.Г. Ноздрина

Гетероструктуры на основе фосфида индия и изопериодических с ним твердых растворах  $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$  являются весьма перспективными для создания быстродействующих цифровых и СВЧ аналоговых микроэлектронных приборов. Наибольший интерес представляет твердый раствор  $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ , в