

Излучение ударной волны в кремнии при двухволновой конфигурации

М.И. Кулиш, В.Б. Минцев, С.В. Дудин, Д.Н. Николаев, И.В. Ломоносов
ИПХФ РАН, Черноголовка

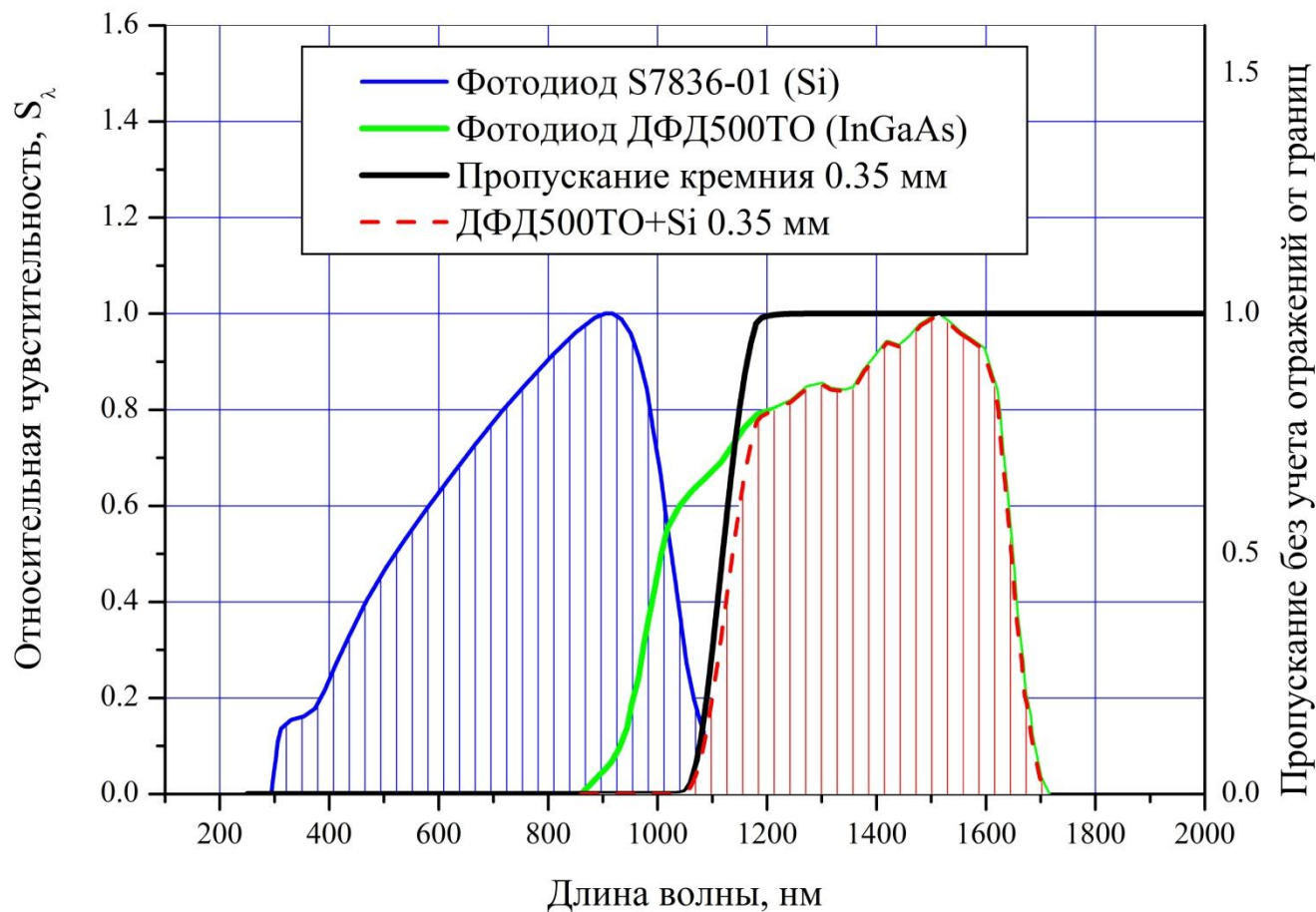


December 9-10, 2021, Moscow, Russia

Содержание:

- Постановка эксперимента
- Параметры ударных волн в эксперименте
- Результаты измерения яркостных температур, сравнение с расчетами
- Эксперимент по измерению степени черноты УВ в кремнии
- Выводы

Полосы чувствительности фотоприемников в видимой и ИК областях и пропускание кремния



Методика определения яркостной температуры

Неизвестная температура T_x определяется из численного решения двух уравнений:

C - величина получаемая при калибровке по ленточной лампе:

$$C = \int \varepsilon(\lambda) K(\lambda) \frac{2c^2h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda k T_c}} - 1} \cdot d\lambda,$$

при $T_c = 2700$ К

и сигнала получаемого в эксперименте $I(t)$:

$$I(t) = \int K(\lambda) \frac{2c^2h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda k T_x}} - 1} \cdot d\lambda$$

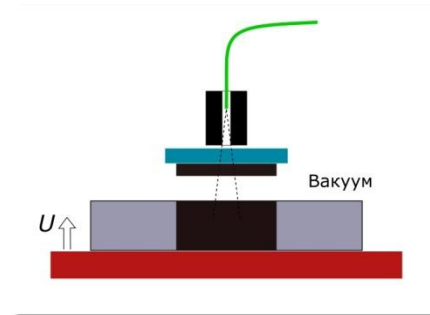
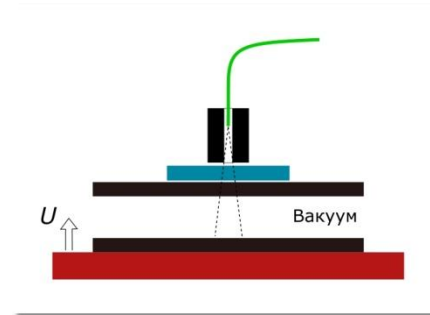
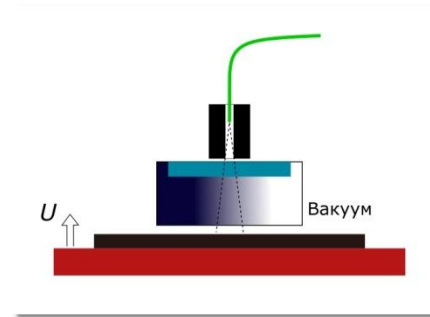
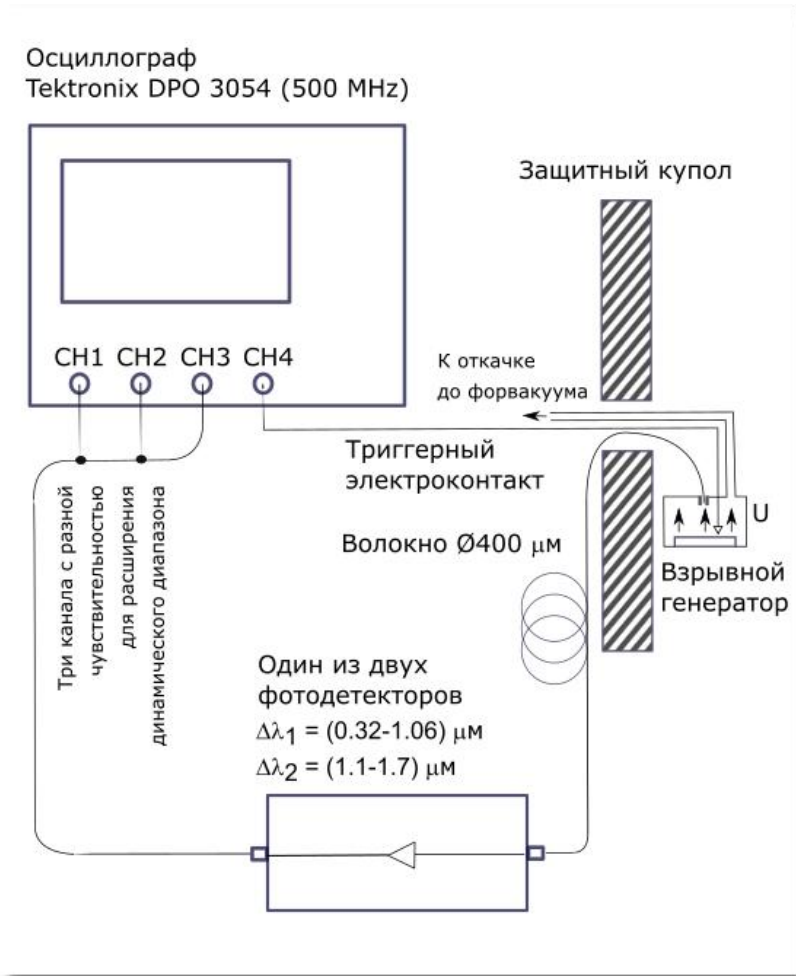
$\varepsilon(\lambda)$ - известная степень черноты вольфрамовой лампы





$K(\lambda) = F(\lambda) \cdot S(\lambda)$, где $F(\lambda)$ описывает числовую апертуру оптической системы и пропускание фильтров, например кремния, а $S(\lambda)$ - спектральную чувствительность фотоприемника.

$\frac{2c^2h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda k T_x}} - 1} \cdot d\lambda = P(\lambda, T) \cdot d\lambda$ - значение энергетической яркости по Планку.

В эксперименте степень черноты объекта предполагается равной единице.

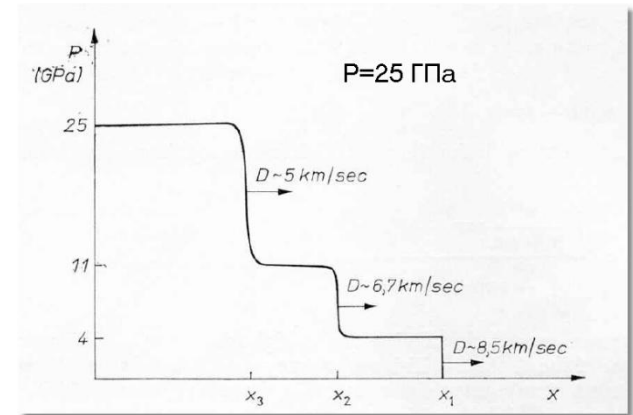
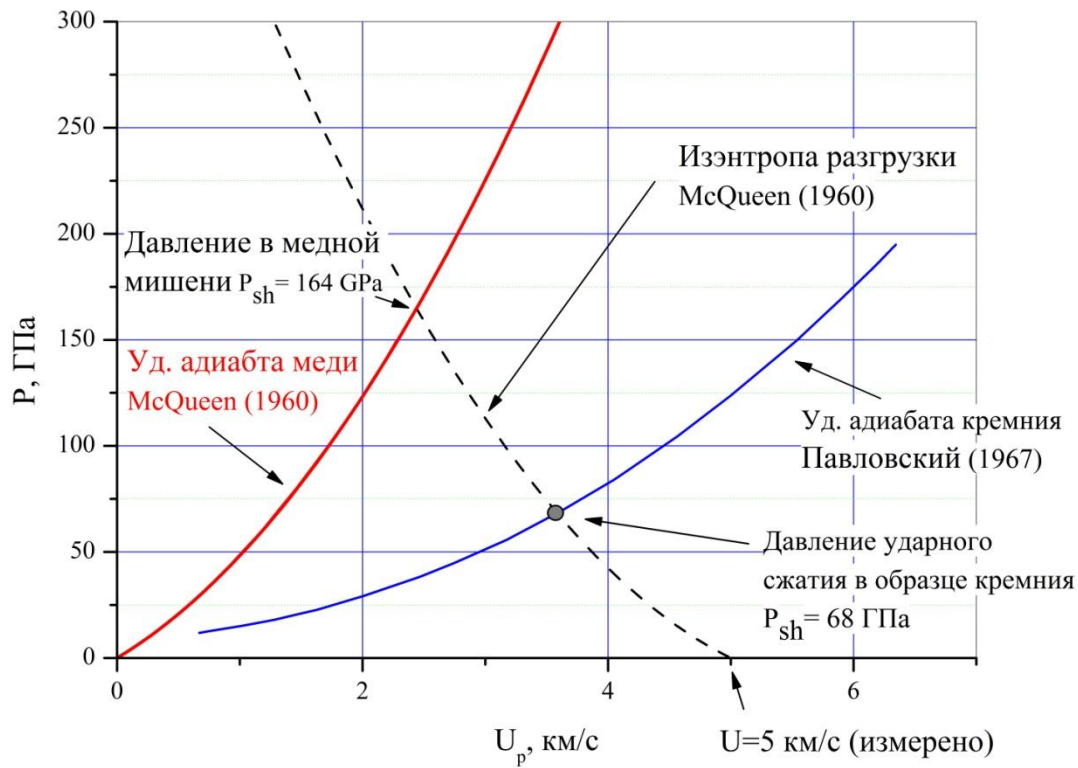
Экспериментальный стенд и сборки



-  - Медь
-  - Кремний
-  - Стекло
-  - Алюминий
-  - Световод

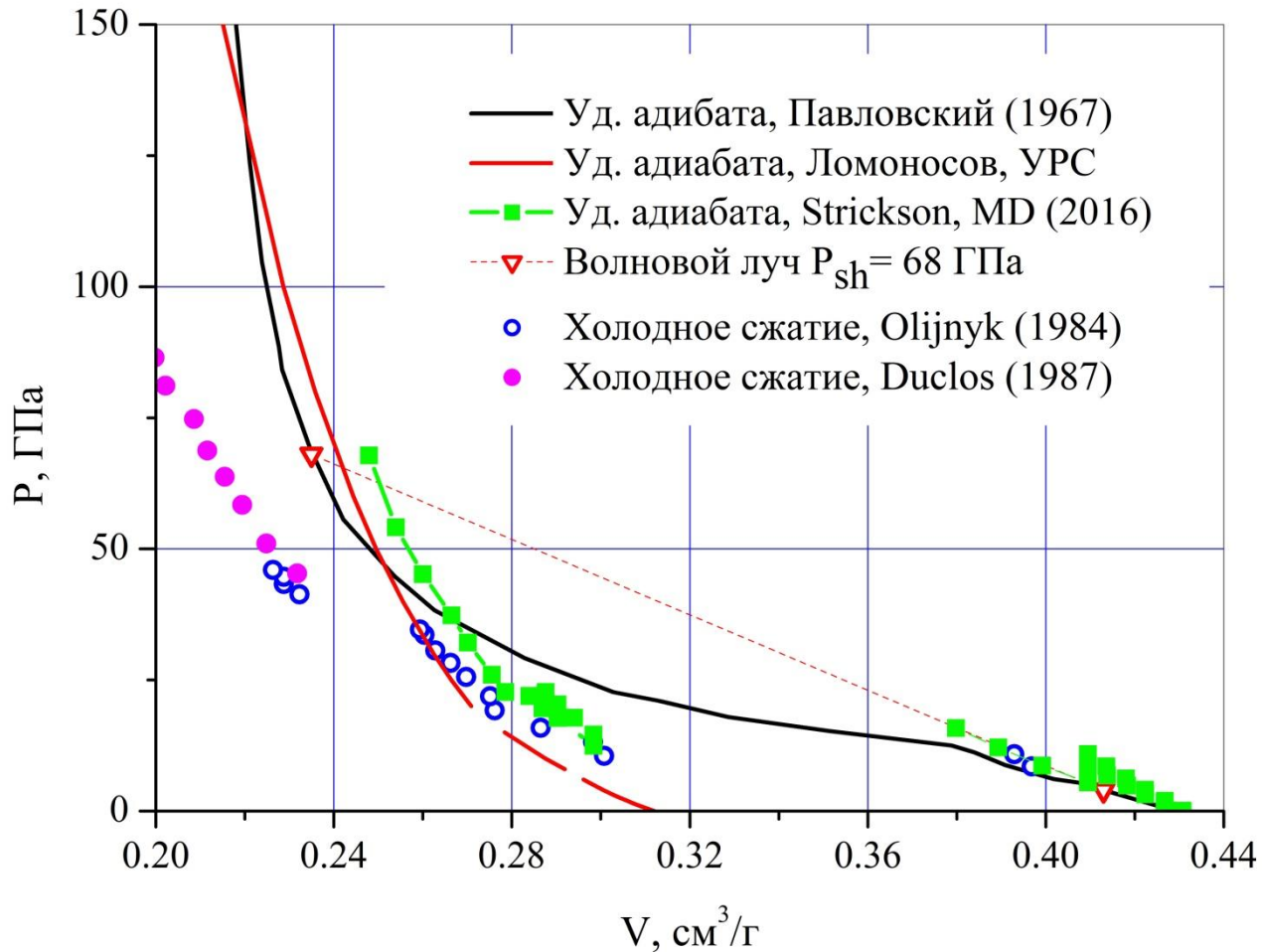
$U = 5 \text{ км/с}$ –
скорость
свободной
поверхности
меди

Параметры УВ при двухволновой конфигурации



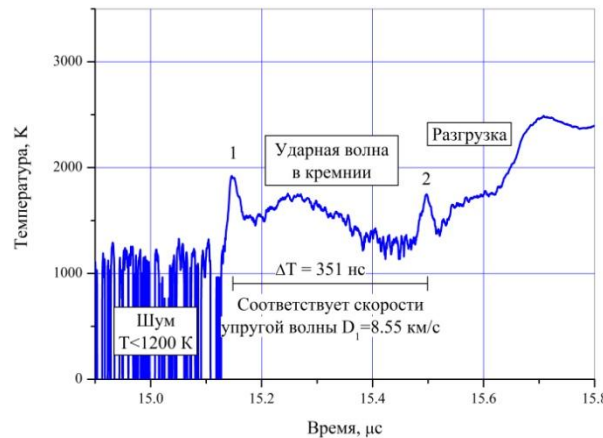
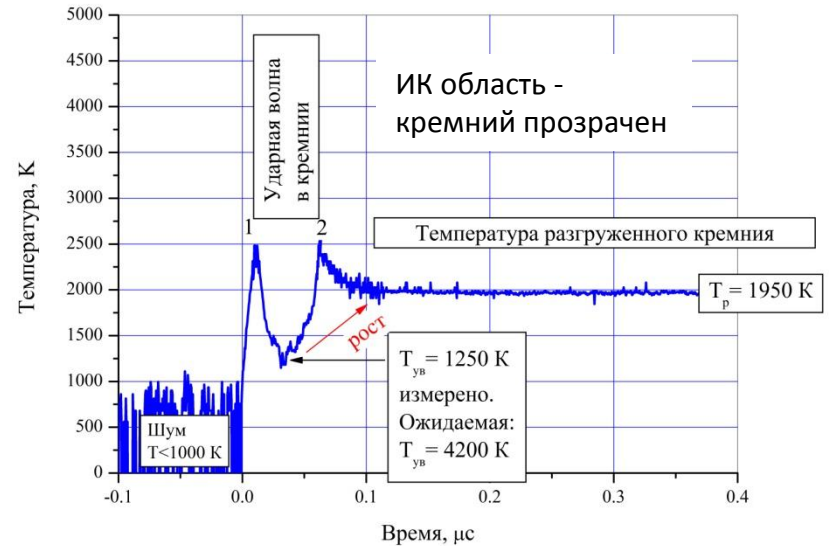
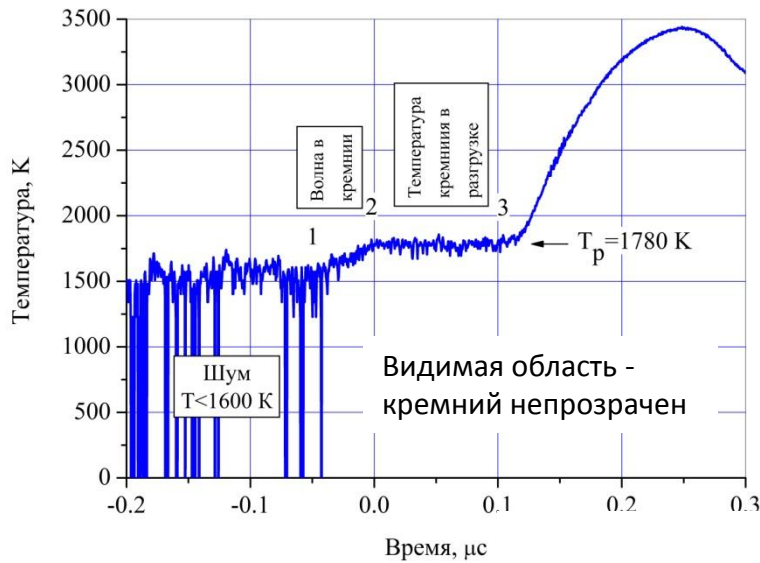
Трехволновая конфигурация для давления 25 ГПа:
 Mintsev V. B., Zaporozhets Y. B.
 Reflectivity of dense plasma //
 Contributions to Plasma Physics. –
 1989. – Т. 29. – №. 4-5. – С. 493-501.

Ударные адиабаты в p - v координатах



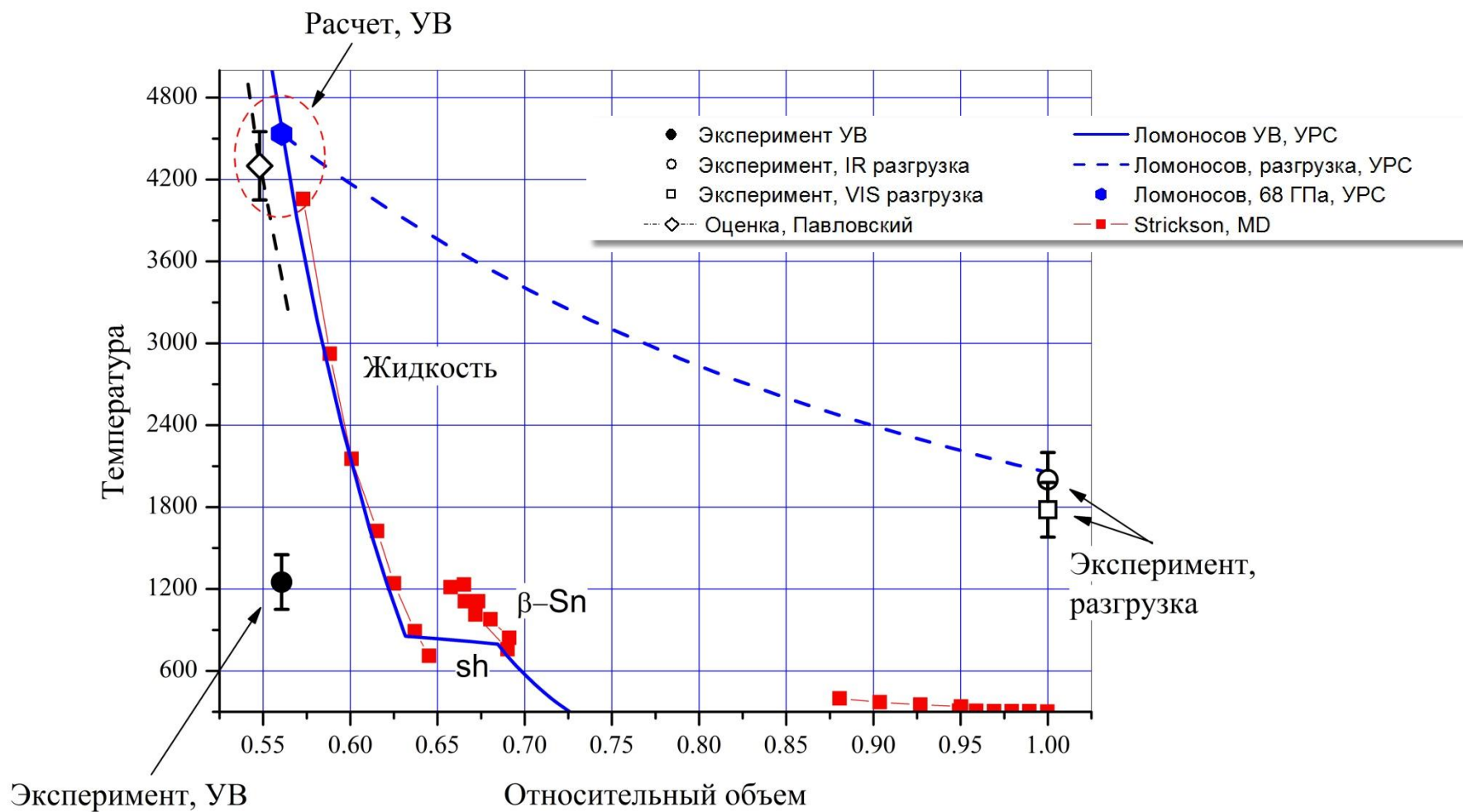
Измерение яркостных температур

Толщина образца кремния 0.35 мм

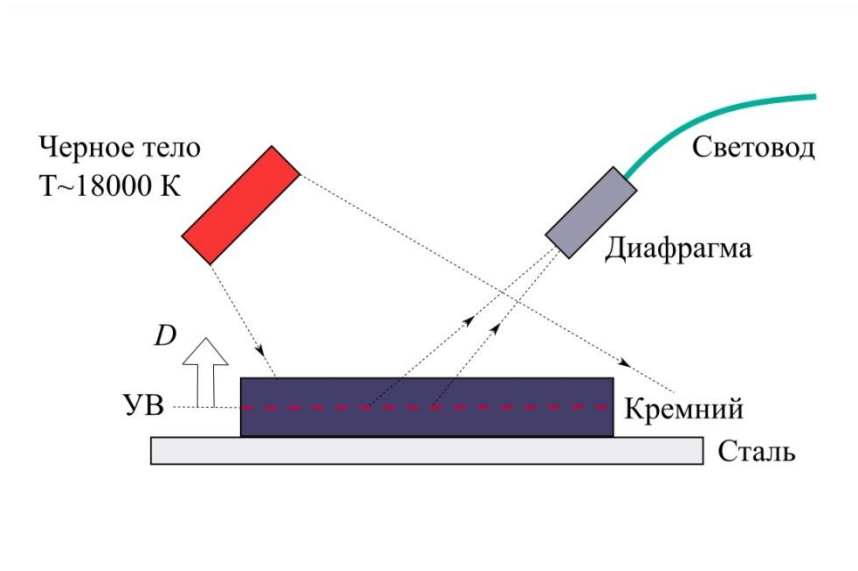


Толщина образца кремния 3 мм (качественные измерения)

Сравнение яркостных температур с расчетными



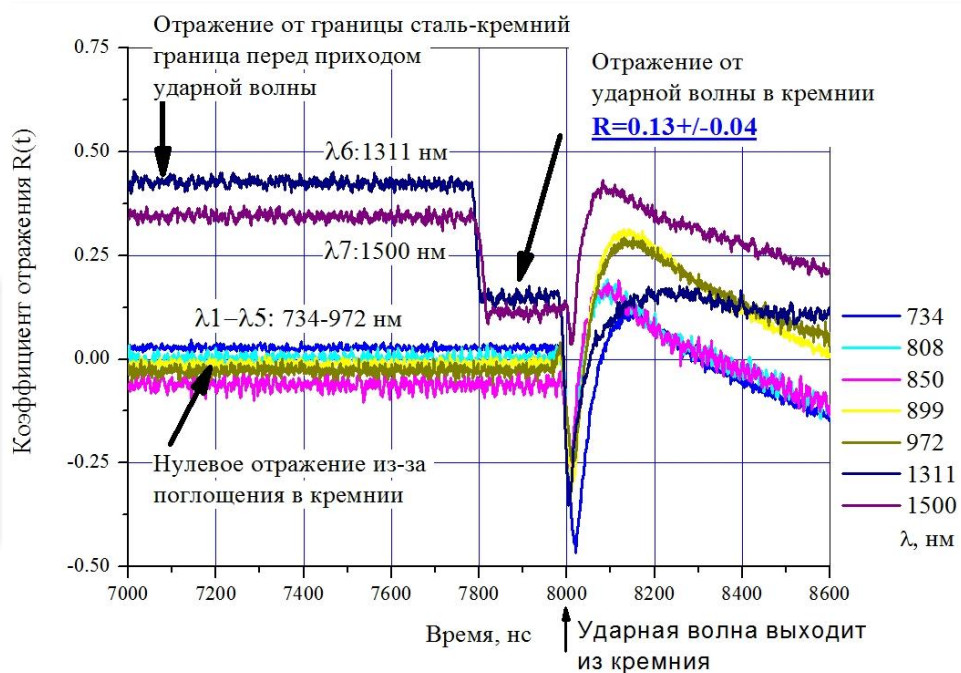
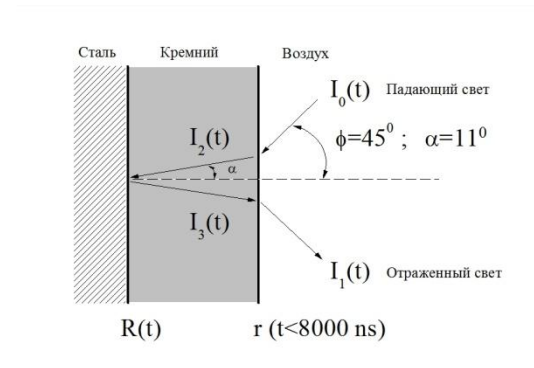
Измерение коэффициента отражения от УВ в кремнии



$\frac{I_1(t)}{I_0(t)} = R_{exp}(t)$ – измеренное значение коэффициента отражения

$R(t) = \frac{R_{exp}(t) - r}{1 - 2*r + r*R_{exp}(t)}$ – расчетное значение коэффициента отражения УВ в кремнии

r – коэффициент отражения границы кремний – воздух



Выводы

- Наблюдается заметное занижение экспериментальной величины температуры фронта в кремнии в сравнении с расчетными значениями, при том, что набор температуры в цикле ударное сжатие – разгрузка совпадает с расчетами по УРС
- Отражение от фронта УВ невелико и не объясняет занижение экспериментальной температуры
- В двухволновой конфигурации поглощение света в первой, упругой волне, с давлением 4 ГПа может объяснить низкие значения яркости фронта, но различие расчета и эксперимента сохраняется и при больших давлениях при одноволновой конфигурации.

Литература

- Lomonosov I. V. Multi-phase equation of state for aluminum //Laser and Particle beams. – 2007. – Т. 25. – №. 4. – С. 567-584.
- Mintsev V. B., Zaporozhets Y. B. Reflectivity of dense plasma //Contributions to Plasma Physics. – 1989. – Т. 29. – №. 4-5. – С. 493-501.
- Pavlovskii M. N. Formation of metallic modification of Germanium and Silicon under shock loading //Soviet Physics-Solid state. – 1968. – Т. 9. – С. 2514-2518.
- Strickson O., Artacho E. Ab initio calculation of the shock Hugoniot of bulk silicon //Physical Review B. – 2016. – Т. 93. – №. 9. – С. 094107.
- Olijnyk H., Sikka S. K., Holzappel W. B. Structural phase transitions in Si and Ge under pressures up to 50 GPa //Physics Letters A. – 1984. – Т. 103. – №. 3. – С. 137-140.
- Duclos S. J., Vohra Y. K., Ruoff A. L. hcp to fcc transition in silicon at 78 GPa and studies to 100 GPa //Physical review letters. – 1987. – Т. 58. – №. 8. – С. 775.
- McQueen R. G., Marsh S. P. Equation of state for nineteen metallic elements from shock-wave measurements to two megabars //Journal of Applied Physics. – 1960. – Т. 31. – №. 7. – С. 1253-1269.

Спасибо за внимание