

Измерение линейного и нелинейного коэффициента отражения лазерного излучения с длиной волны 2940 нм от границы раздела плавленый кварц – вода и плавленый кварц – этиловый спирт

В.И. Полянский^{1,2}, Э.С. Гулямова², Н.Н. Ильичев², П.П. Пашинин², А.В. Сидорин²

1 Московский физико-технический институт (государственный университет),

Долгопрудный, Россия

2 Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

Интерес к исследованию процессов, происходящих при взаимодействии мощного лазерного ИК излучения с водой, помимо фундаментальных аспектов физики неравновесных фазовых переходов, во многом обусловлен потребностями медицины, поскольку биологические ткани содержат в себе воду и поэтому хорошо поглощают излучение с определенными длинами волн в ИК части спектра. Особый интерес в дерматологии и косметологии представляют лазеры, излучающие в среднем ИК диапазоне, например, YAG:Er³⁺ лазеры. Вода имеет очень большой коэффициент поглощения ($\alpha=1.4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$) на длине волны 2940 нм [1]. Это позволяет достичь высоких значений вклада энергии в единице объема, при взаимодействии интенсивного излучения лазера на YAG:Er³⁺ (длина волны 2940 нм) с биотканями при минимальной зоне термических повреждений. Детальному исследованию процессов взаимодействия 3 – микронного лазерного излучения с водой посвящены, например, работы [2,3]. В частности, в [2] наблюдалось изменение показателя преломления воды в видимой области спектра. Другой жидкостью с высоким коэффициентом поглощения в области спектра около 3000 нм является этиловый спирт, коэффициент поглощения которого на длине волны 2940 нм меньше, чем у воды. Настоящая работа посвящена измерению коэффициента отражения от границы раздела плавленый кварц – вода и плавленый кварц – этиловый спирт для мощного и ослабленного ИК-излучения.

В работе использовался лазер на кристалле YAG:Er³⁺ с длиной волны излучения 2940 нм, с активной модуляцией добротности. Энергия импульса излучения лазера была 12 мДж, длительность импульса ~220 нс, поперечное распределение - TEM₀₀- мода. Плотность энергии на поверхности раздела 0.9 Дж/см² для мощного излучения и 5 мДж/см² – в случае ослабленного.

Измерения показали, что при комнатной температуре коэффициент отражения мощного излучения от границы раздела плавленый кварц – вода во время действия лазерного импульса сначала уменьшается от 1.4 % до минимального значения 0.4 %, а затем возрастает до 0.7 % в конце импульса. В случае ослабленного излучения

коэффициент отражения поверхности кварц – вода составил величину 1.4 %. Была также измерена зависимость коэффициента отражения ослабленного излучения от температуры. Оказалось, что коэффициент отражения падает от 1.4 % при 20 °С до 0.75% при 90 °С, что хорошо согласуется с данными по зависимости оптических постоянных воды от температуры [1].

Измерения показали, что коэффициент отражения мощного излучения от границы раздела плавленный кварц – этиловый спирт в начале действия импульса излучения остается постоянным, а затем увеличивается от 0.2 -0.28 % до 0.5 %, как при комнатной температуре, так и при температуре 70 °С. В слабом поле коэффициент отражения составил 0.28 % и не зависил от температуры в диапазоне 20 – 70 °С.

Динамика коэффициента отражения мощного излучения как для воды так и для этилового спирта связана с нагревом жидкости, вследствие поглощения лазерного излучения. Грубая оценка изменения температуры жидкости при воздействии на ее поверхность мощного 3 - микронного излучения с плотностью энергии 1 Дж/см² в предположении постоянства теплоемкости и плотности и отсутствия теплопроводности дают увеличение температуры на 3500 °С для воды ($\alpha=1.4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, $c_p=4.2 \text{ Дж/г град}$, $\rho=1 \text{ г/см}^3$ [1,4]) и на 1500 °С для этилового спирта ($\alpha=3.1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, $c_p=2.4 \text{ Дж/г град}$, $\rho=0.85 \text{ г/см}^3$ [4]). Такие высокие температуры, скорее всего, не будут достигаться, т.к. в жидкости должны происходить фазовые превращения, в результате которых нагрев окажется значительно ниже. Коэффициент отражения от границы раздела сильно поглощающей излучение жидкости и прозрачной подложки несет в себе информацию о плотности и температуре жидкости в слоях непосредственно прилегающих к границе раздела, что позволит выявить особенности процессов происходящих при взаимодействии мощного излучения с жидкостью.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ гранты № 13-02-01073а, 13-02-12181 офи-м, 15-59-31817 РТ-оми и гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-451.2014.2

Литература

1. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Симрнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред. Справочник (Л.:Химия, 1984).
2. Водопьянов К.Л., Кулевский Л.А., и др. Квантовая электроника, 30, 975 (2000).
3. Vodop'yanov K.L., Kulevskii L.A., et al. Zh. Eksp. Teor. Fiz. 91, 114-121 (1986).
4. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А. и др. Физические величины: Справочник.; Под. ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. – М.; Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.