

03; 07; 12

© 1991

УСИЛЕНИЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ КАПИЛЛЯРНОЙ  
КОНВЕКЦИИ В ИСПАРЯЮЩЕМСЯ СЛОЕ ЖИДКОСТИ

Б.А. Б е з у г л ы й

Высокая чувствительность жидкости к сдвиговым напряжениям, вызываемым термокапиллярной конвекцией (ТК), привлекала многих исследователей возможностью создания жидкослойных регистрирующих сред для ИК области [1-9], где обычная фотография неприменима. Если в эвапорографии Черни [1] и в методах ИК фотографии Хэйнца [2] ТК механизм построения изображения не был узан, что затрудняло их оптимизацию, то в способах [3-9] действие капиллярной конвекции целенаправленно учитывали. Так, например, авторы ИК преобразователя [4, 7], стремясь к повышению чувствительности, площади по пути снижения поверхностного натяжения деформируемой поверхности, для чего выбрали двухслойную систему с рабочей поверхностью раздела фаз жидкость/жидкость с межфазным натяжением  $\sim 0.8$  дин/см.

В способе, предложенном в работе [3] впервые для построения изображения использована концентрационнокапиллярная (КК) конвекция, генерируемая тепловым действием света в испаряющемся слое раствора тензоактивного красителя. Это позволило получить фиксированное изображение с резонным разрешением свыше  $600 \text{ мм}^{-1}$ . Однако включающийся после ТК механизм и изменяющий знак рельефа КК механизм снижают чувствительность нового способа.

В процессе оптимизации режимов записи на испаряющихся слоях получены позитивные изображения при очень малых экспозициях, соответствующих чувствительности  $\sim 10 \text{ ISO}$ . Анализ результатов и условий эксперимента навел на мысль о возможности существования эффекта усиления капиллярной конвекции с навязанным спектром пространственных частот (изображением) в слое с адверсными градиентами температуры и концентрации тензоактивного красителя, поддерживаемыми процессом испарения летучего растворителя.

Для проверки этой идеи поставлен простой опыт (рис. 1). Растворителем служил  $\text{CCl}_4$ , хорошо растворяющийся антрахиноновый ярко-синий с пиком поглощения около длины волны 633 нм используемого излучения He-Ne лазера. В качестве ТК отклика слоя брали диаметр сечения каустики луча, отраженного от ТК углубления [8] плоскостью экрана. Величину отклика для заданной толщины слоя измеряли дважды: 1) для закрытого слоя, когда жидкость не испарялась, и 2) для открытого, в режиме квазистационарного испарения. Скорость испарения  $U$  зависела от темпе-

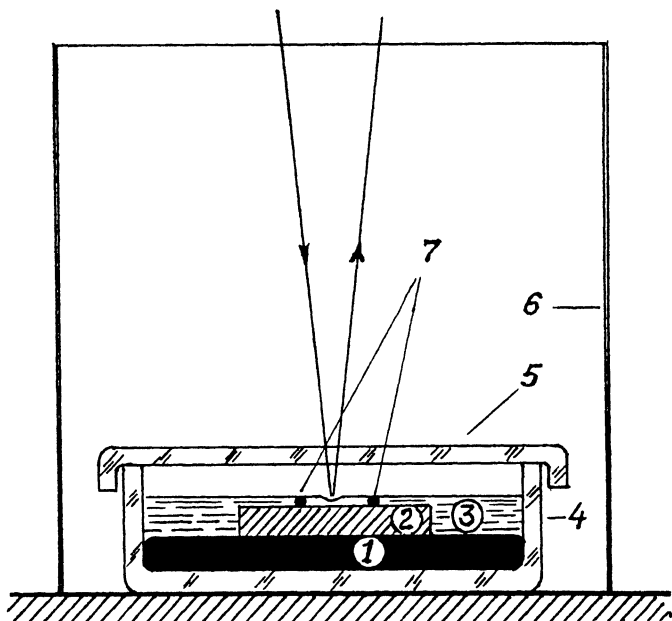


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - слой ртуты, 2 - металлическая платформа с плоскопараллельными поверхностями, 3 - раствор красителя в летучем растворителе, 4 - рабочая ювета, 5 - съемная прозрачная крышка, 6 - трубка Стефана, 7 - калиброванные проволочки для контроля толщины слоя по плоскости его свободной поверхности.

ратуры и высоты трубки Стефана и ее оценивали по изменению толщины слоя. Усиление отклика равно отношению мощностей  $P^0$  и  $P^*$ , дающих одно и то же значение отклика  $D^0$  при отсутствии и наличии испарения жидкости соответственно  $K = P^0/P^*$ . Его можно измерить как величину ослабления вводимого в пучок светофильтра уменьшающего мощность  $P^0$  до значения  $P^*$ , при котором отклик испаряющегося слоя уменьшится до значения  $D^0$ . Разность  $P^0 - P^* = \Delta P$  можно рассматривать как скорость преобразования энергии теплового потока, поддерживаемого испарением, в кинетическую энергию ТК движения. На рис. 2 показаны динамические характеристики для слоя с испарением (1) и без (2), по которым определяли усиление  $K$ .

Выражая скорость испарения растворителя как скорость уменьшения толщины слоя,  $v = \Delta h / \Delta t$ , плотность теплового потока поддерживаемого испарением с поверхности слоя  $q = v \rho r$ , где  $\rho$  - плотность растворителя,  $r$  - удельная теплота испарения. Если допустить, что основной теплоотвод с поверхности слоя происходит лишь за счет испарения, то энергия теплового потока, преобразуемая в кинетическую энергию ТК конвекции, propor-

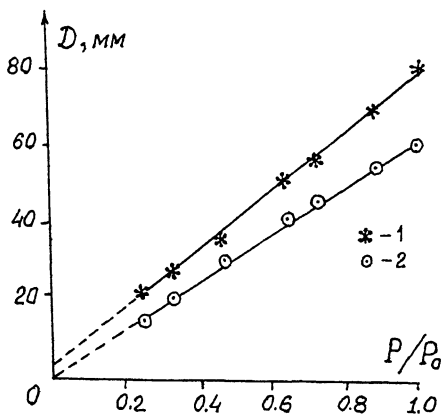


Рис. 2. Динамические характеристики испаряющегося (1) и не-испаряющегося слоя (2). Раствор антрахинового ярко-синего в  $CCl_4$ , с концентрацией 25 г/л,  $h \approx 200$  мкм,  $T=20$  °C,  $v=6 \cdot 10^{-5}$  см/с,  $P_0=8$  мВт.

циональна теплоте испарения с площади  $S$  поверхности, покрывающей индуцируемый пучком лазера конвективный вихрь, размер которого по нашей оценке равен 2–3 диаметрам пучка лазера  $w$ . Длина волны спонтанно возникающих ячеек Бенара не превышала  $3h$ . Размер навязанного возмущения равнялся диаметру пучка лазера в плоскости слоя  $w=2.8$  мм, что на порядок превышает толщину слоя  $h=200-300$  мкм.

Наконец, можно определить КПД преобразования тепловой энергии потока  $q$ , поддерживаемого испарением, в кинетическую энергию ТК конвекции, вызывающую увеличение отклика слоя, которое без испарения можно вызвать лишь увеличением мощности пучка на величину  $\Delta P$ ,  $\eta = \Delta P/qS$ .

Найдено, что при  $P^*=6.2$  мВт (рис. 2) отклик испаряющегося слоя равен тому значению, которое достигается при  $P^0=8$  мВт. Измеренная скорость испарения  $v=6 \cdot 10^{-5}$  см/с. Положив диаметр вихря равным 8 мм и используя справочные данные для  $CCl_4$  [10]:  $\rho=1.59$  г/см<sup>3</sup> и  $\gamma=200$  Дж/г $\cdot$  найдем  $\eta \approx 0.2$ .

Усиление  $K$ , измеренное предложенным методом, не превышало 1.5. Очевидно, столь низкое значение  $K$  обусловлено как большим сигналом, так и значительным отличием его размера от „резонансной“ длины волны ячеек Бенара. Это подтверждается и тем, что при мощностях сигнала меньше 2 мВт наблюдается тенденция роста усиления. Однако из-за общего уменьшения сигнала и отклика точность измерений становится ненадежной. Эксперимент (рис. 2) показывает, что при  $P^* \rightarrow 0$  отклик  $D^* \rightarrow D^*_{крит}$ ; и следовательно,  $K \rightarrow \infty$ , что и должно ожидать при самовозбуждении адверсной системы.



Рис. 3. Микрофотография позитивного изображения (справа), полученного с усилением на жидком слое. Ширина царапины на подложке в левом верхнем углу  $\sim 8$  мкм. На снимке слева – транспарант.

Возможно, применение импульсного сигнала и невозмущающее наблюдение его эволюции позволит увидеть более значительный эффект, но для улучшения эксперимента требуются соответствующие приборы.

В заключение на рис. 3 показана микрофотография первого позитивного полутонного изображения, полученного с усилением на слое раствора кристаллического фиолетового в дихлорэтаноле на подложке из полиметилметакрилата при проецировании пучка лазера через транспарант и уменьшении его изображения в плоскости слоя до размера  $0.2 \times 0.3$  мм. Чувствительность оценена в 10 ISO, разрешение свыше  $400 \text{ мм}^{-1}$ .

Автор благодарит И.Е. Денисова за предоставленную микрофотографию.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л л о у д Д ж. Система тепловидения. М.: Мир, 1978.
- [2] Н e i n t z E. // J. Phys. Radium. 1946. Т. 7. N 293. С. 336.
- [3] Б е з у г л ы й Б.А. и др. А.С. 957155 (СССР). БИ. 1982. № 33.
- [4] L o u l e r g e J.C. et al. Proc. Intern. Comission for Optics Conference (ISO-11), Madrid, 1978. P. 775.
- [5] D a C o s t a G., C a l a t r o n i J., ibid, P. 779.

- [6] Глушков А.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. С. 1223.
- [7] Loulerge J.C. et al. // J. Phys. D. 1981. V. 14. P. 1967.
- [8] Da Costa G. // Phys. Lett. 1980. V. 80A P. 320.
- [9] Безуглый Б.А. // ЖТФ. 1983. Т. 53. С. 927.
- [10] Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972.

Поступило в Редакцию  
2 февраля 1991 г.