

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический
 **ИНСТИТУТ**
имени
П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

А. В. СТАРЦЕВ, Ю. Ю. СТОЙЛОВ

8

**ЛАЗЕРНЫЕ ТРЕКИ В ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ
ПЛЕНКАХ НА КВАРЦЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ**

Москва 2012

Лазерные треки в жидких и твердых пленках на кварцевой подложке

Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю.

Обнаружено, что узкие нерасходящиеся лазерные треки, которые изучались ранее в свободных мыльных пленках и радужных пленках растворителей на воде, могут также образовываться в тонкой радужной пленке, например, бензина, на кварцевой подложке, а также в специально приготовленной прозрачной твердой акриловой пленке на кварцевой подложке.

Известно, что в тонких мыльных пленках /1-13/ и в радужных пленках разных растворителей на воде /14/ введенный в них лазерный луч формирует узкие нерасходящиеся световые каналы, лазерные треки.

Поскольку, как продемонстрировано /14/, при контакте с другой средой способность пленок формировать в себе лазерные треки не теряется, то возникает вопрос - могут ли такие же лазерные треки быть в радужных пленках на воды, но на очень тонком слое воды? Или даже совсем без воды на твердой подложке с показателем преломления меньше, чем у жидкости, образующей радужную пленку?

Рассматриваемый нами механизм формирования треков за счет светового давления /10-12/ позволяет предположить возможность существования треков в жидкой пленке и на твердой подложке при наличии в слое полного внутреннего отражения введенного в него света. Однако при такой геометрии опыта существенно изменяется угол полного внутреннего отражения, и у пленки не будет возможности деформировать под действием света ту свою поверхность, которая контактирует с твердой подложкой. Не явится ли это препятствием для получения лазерных треков?

Для проверки возможности формирования треков в таких опытах нужна подложка с наименьшим показателем преломления, и кварц с ($n = 1.46$) здесь подходит лучше, чем стекло ($n=1.5$). Для пленки же требуется жидкость с наибольшим показателем преломления, которая бы еще смачивала кварцевую подложку и, благодаря этому, сама расширялась бы на ней тонким слоем. Водяная (мыльная) пленка с ($n = 1.33$) и с плохим смачиванием здесь не подходит. Но таким смачиванием обладают бензин, капля которого расплзается по кварцевой

подложке, как на воде /14/, и у которого в зависимости от его состава показатель преломления лежит в диапазоне (1.37 – 1.58) /15/.

Без особого выбора мы использовали тот же бензин, что применяли в наших опытах с пленкой на воде /14/, чтобы посмотреть, подходит ли он для получения лазерных треков на твердой подложке. И схема опытов осталась та же, что мы использовали с водой /14/, только вместо воды здесь был кварц.

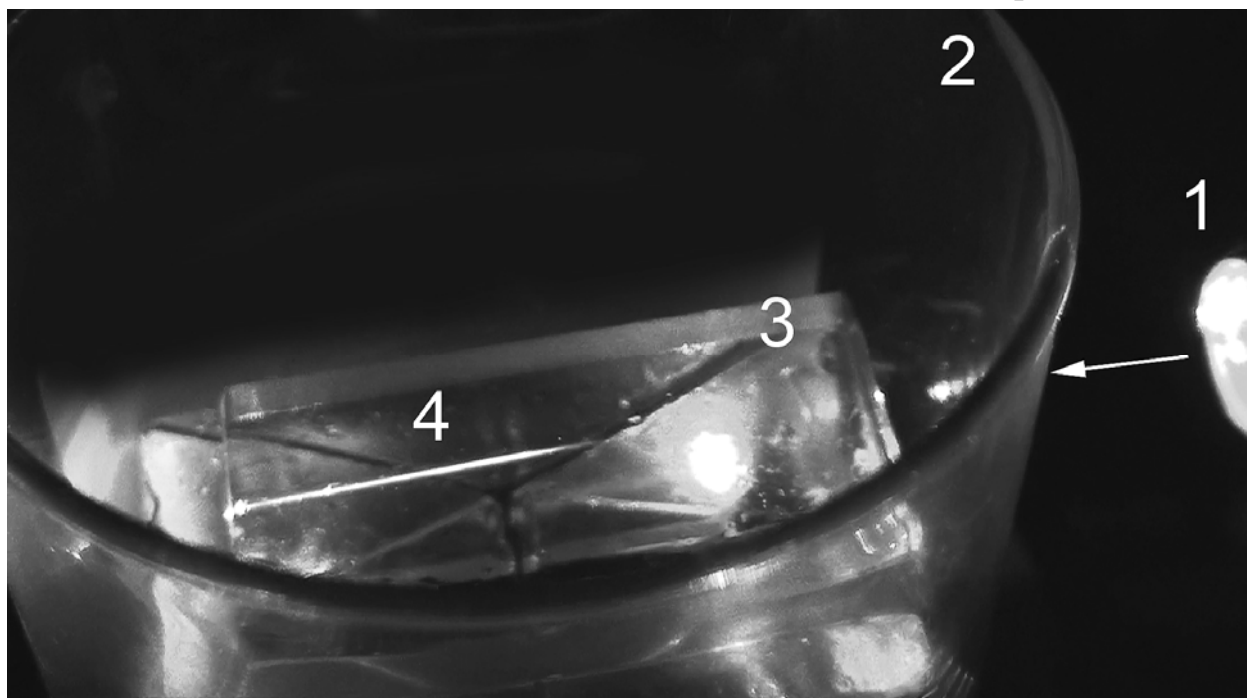


Рис.1. Схема установки. 1 - лазерная указка (532 нм, 10 мВт) с фокусирующей линзой с $F=5$ см, 2 – стеклянный стакан, 3 – кварцевая подложка 30x50x3 мм марки КУ, 4 – лазерный трек в пленке бензина.

Луч лазерной указки (532 нм, 10 мВт) фокусировался линзой с $F=5$ см через прозрачную боковую стенку стакана и кварцевой подложки снизу на поверхность покрывающей подложку пленки под углом около 2-3 градусов к поверхности пленки.

Для получения пленки капля бензина объемом около 15 мм³ наносилась на кварцевую подложку и за считанные секунды полностью покрывала ее поверхность. Еще через минуту на пленке проявлялись заметные в отраженном свете яркие цвета, а затем при отсутствии крышки за 5-10 минут пленка испарялась.

После подбора угла ввода излучения и опробования разных мест фокусировки света на поверхности кварца в цветной пленке были замечены узкие световые каналы, похожие на лазерные треки. Рис.2,3.

Как мы уже отмечали /14/, если в использовавшемся бензине были флуоресцирующие добавки, то эти каналы выделялись желтым светом.

Образование каналов свидетельствовало о наличии полного внутреннего отражения в цветной пленке бензина на кварцевой подложке. На стеклянной подложке в аналогичных опытах нам таких каналов получать не удавалось.



Рис.2. Лазерные треки в пленке бензина на кварцевой подложке.

Каналы узкие, длинные (1 - 3 см). Ширины каналов были разные от 20 до 80 мкм, иногда два канала разной ширины находились на пленке рядом.

В отличие от треков в пленке на воде образовавшиеся каналы почти не меняли своего положения во времени, но затухали, когда пленка испарялась. В дальнейшем для сохранения пленки подложка помещалась в стакан с дополнительным бензином на дне и закрывалась прозрачной крышкой. В таких условиях узкие каналы на ней можно было наблюдать часами.

Если к пленке, в которой сформировался канал, добавить новую каплю бензина, то канал исчезал, и приходилось ждать, пока пленка снова станет тонкой. Отсутствие перемещения каналов позволяло их хорошо рассмотреть, но из-за неровностей на краю подложки, смоченной бензином, узкие вытянутые по

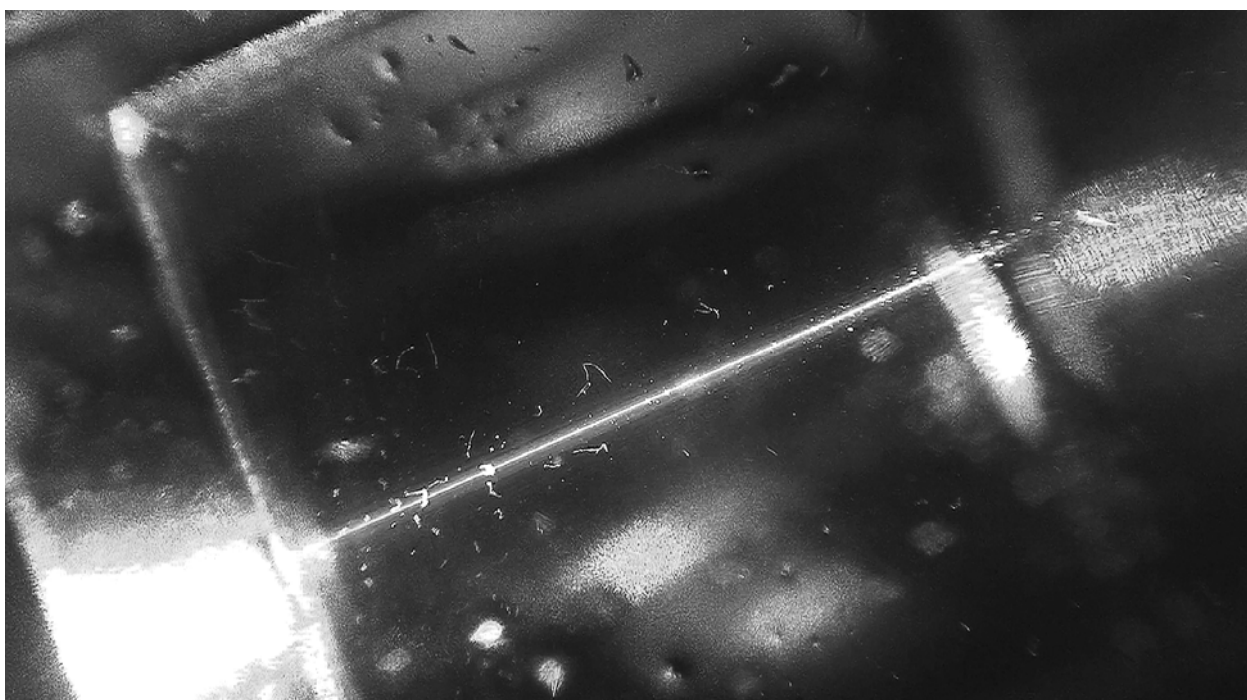


Рис.3. Лазерный трек в слое бензина на кварцевой подложке.

вертикали полосы выходного излучения треков на экране с трудом выделялись на фоне яркой засветки от невошедшего в пленку лазерного излучения.

Было замечено, что треки лучше возникали от случайных пылинок или неоднородностей в пленке. Для проверки этого наблюдения на поверхность кварцевой подложки с пленкой была положена капроновая нить толщиной около 10 мкм. Около нее пленка утолщалась, и при наведении лазерного фокуса на это утолщение в ней возникал ряд лазерных треков, как показано на Рис.4.

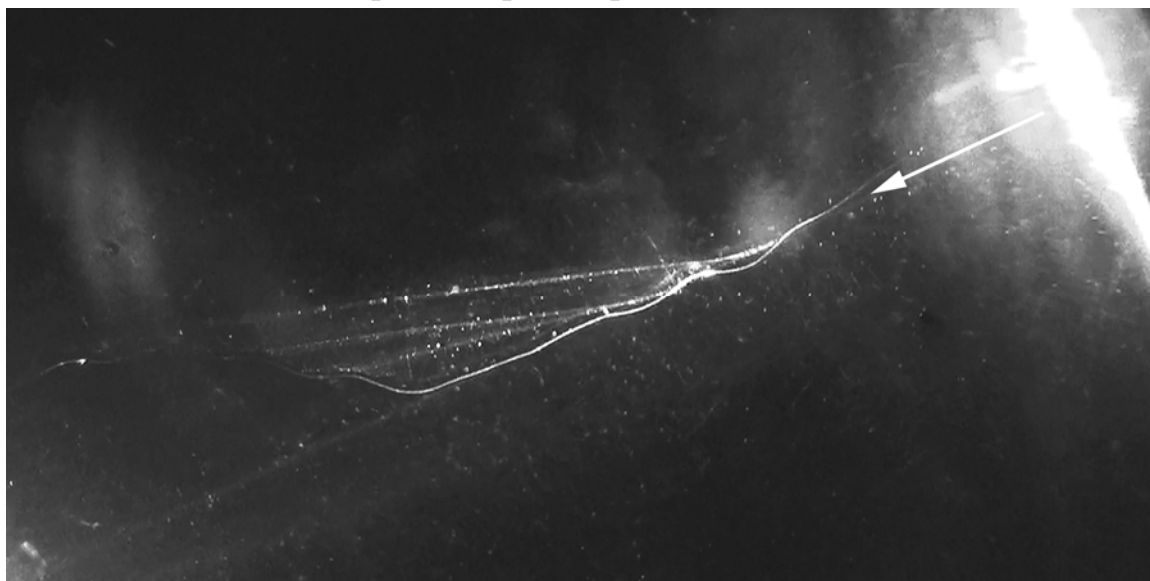


Рис.4. Лазерные треки в пленке бензина, образующиеся около капроновой нити, лежащей на кварцевой подложке. Стрелка – направление лазерного луча.

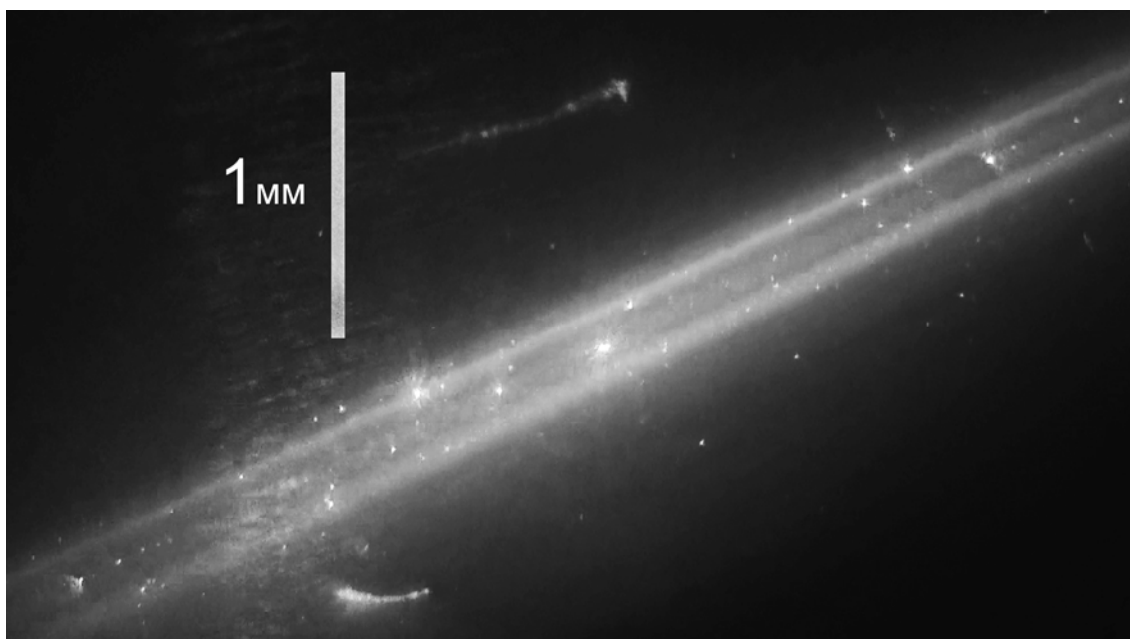


Рис.5. Лазерные треки под микроскопом. Ширина 20-80 мкм.

Узость и отсутствие расходимости вдоль канала (Рис.5) позволяет утверждать, что в цветной бензиновой пленке на кварце образуются лазерные треки, наблюдавшиеся раньше в свободной мыльной пленке и в радужных пленках растворителей на воде.

Для полноты картины и уточнения условий опытов для их дальнейшего воспроизведения требовалось указать показатель преломления использовавшегося для радужных пленок бензина. Благо параллельный лазерный луч позволял это сделать с приемлемой точностью и без рефрактометра. Несколько измерений по отклонению луча, и вот имеем искомый результат. Показатель преломления бензина $n = 1.42 \pm 0.01$. Можно...Стоп!

Как же так? У кварца 1.46, а бензина 1.42? Значит, в слое бензина не должно быть полного внутреннего отражения, не может быть треков? А они есть! Что это? Опять трековое чудо /1/? Сошествие благодатного огня? Или подвох? Перепроверяем и уточняем измерения показателя. Нет, с измерениями все правильно. У нашего бензина $n = 1.42 \pm 0.01$ и он действительно меньше, чем у кварца. Мы-то были уверены, что нам с бензином случайно повезло и что у него показатель преломления больше, чем у кварца, а это не так! Знай мы эту величину заранее, мы бы определенно отложили описанные выше опыты с таким растворителем. Для уверенности искали бы бензин с указанными в литературе более высокими показателями преломления. Да, опыты надо повторять с такими сортами бензина, но откуда взялись треки в опытах с нашим бензином?

Можно предположить, что в радужной пленке бензина после испарения основной его части остаются фракции с более высоким показателем преломления, величину которого мы назвать не можем. Можем только дать оценку. Показатель преломления в нашей пленке оказался больше 1.46 и меньше 1.5, поскольку в проверочных аналогичных опытах со стеклянной подложкой нам лазерных треков получить не удалось.

Но факт установлен. Лазерные треки в радужных пленках на твердой подложке есть. Это расширяет набор сред и условий получения треков с другими жидкими пленками и исследований механизма формирования треков световым давлением с другими вариациями длин волн и интенсивностей используемого излучения.

Опыты на подложке позволяют более детально изучить разнообразные свойства треков /13/ и, используя описанное в /16/ утолщение жидких пленок за счет электрофореза под действием электрических полей от введенных в подложку электродов, обратиться к опытам по управлению световыми каналами, если не помещают события, описанные в /17/.

Воздействие утолщений на поведение треков можно было бы проверить на специально изготовленной твердой пленке с волноводными утолщениями на ней, необходимыми для треков. Одновременно на ней, как на примере, можно было бы продемонстрировать механизма самоформирования треков при малом утолщении пленки светом /10/, если бы удалось наблюдать аналогичные треки в тонкой твердой пленке с изготовленной на ней фиксированной профильной поверхностью, аналогичной той, которую создает трек на поверхности в жидкой пленке.

Изготовление тонкой твердой пленки с требуемыми утолщениями оптического качества представляет значительную сложность. Но для реализации упрощенного варианта такой твердую пленку мы попытались использовать прозрачный слой из застывающего акрилового клея ($n = 1.48$) на кварцевой подложке ($n = 1.46$).

Капля вязкого акрилового клея объемом около 100 мм³ наносилась на кварцевую (КУ) подложку 6х6 см² и раздавливалась другой такой же подложкой, пока тонкий слой не покрывал всю нижнюю подложку. Затем верхняя подложка медленно сдвигалась с нижней с периодическими остановками и с возобновлением движения. Такие остановки оставляли на нижнем слое акрила последовательность расположенных рядом линии утолщения слоя, которые потом немного заплывали, но оставались видны и на затвердевшей акриловой пленке в

отраженном свете (Рис. 6). Оценка величины получающихся утолщений будет дана ниже.

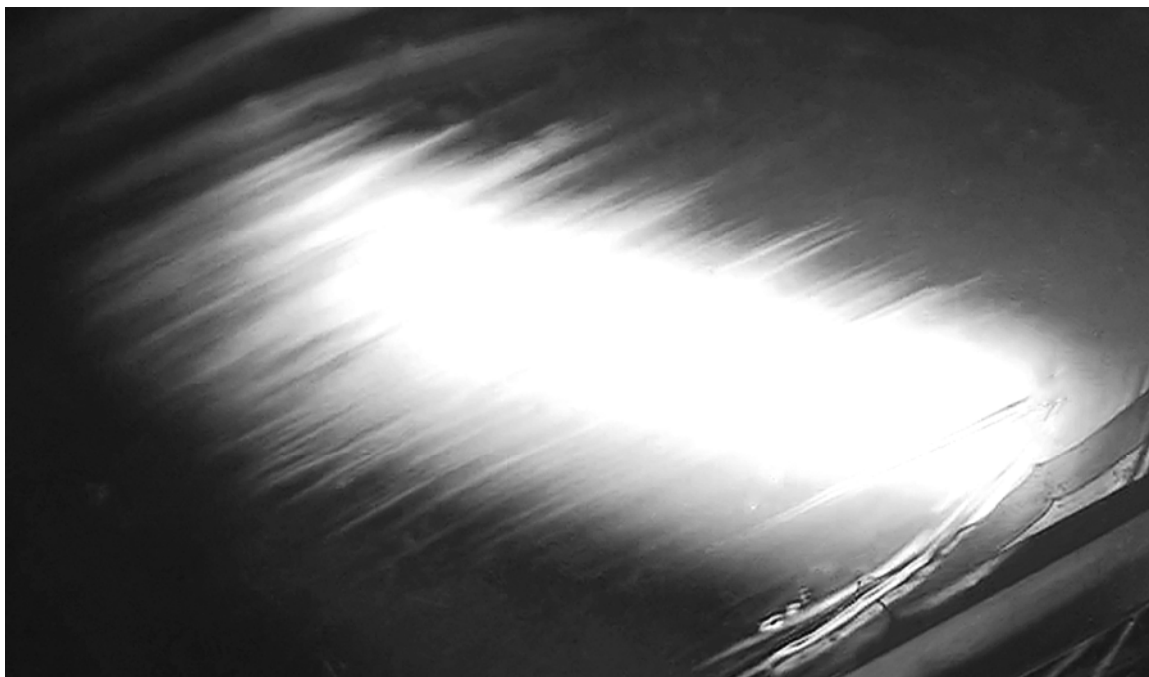


Рис.6. Заметные в отраженном свете полосы утолщений на застывшей пленке акрилового клея на кварцевой подложке.

Лазерный свет заводился в твердую пленку снизу через кварцевую подложку под углом 2-3 градуса к поверхности пленки. Подбирая точку ввода излучения, в некоторых местах слоя можно было наблюдать узкие световые каналы (Рис.7,8), схожие с лазерными треками в жидких пленках.

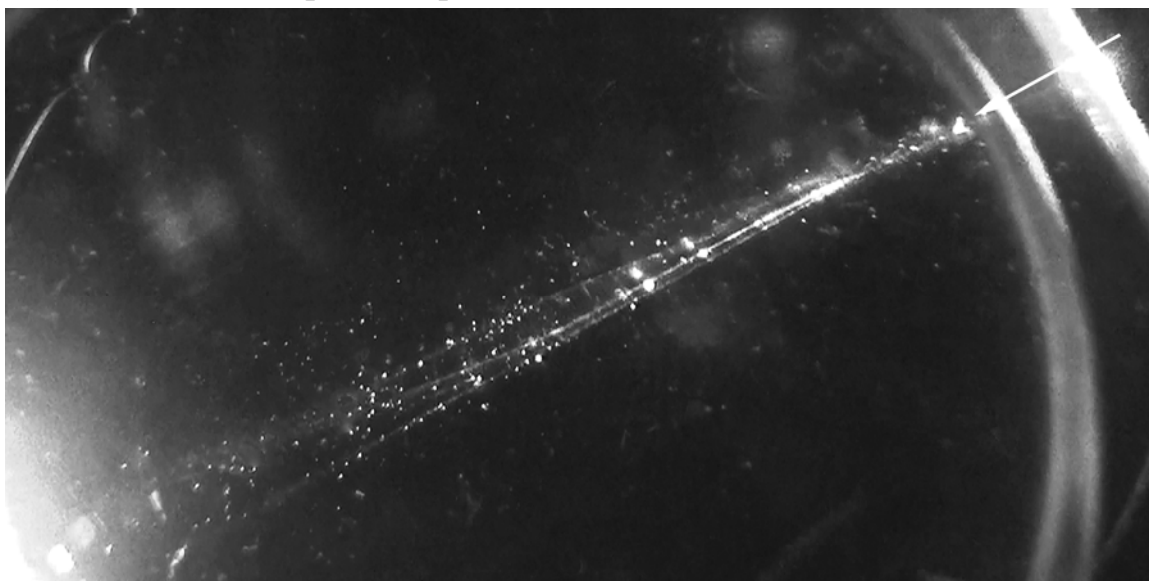


Рис.7. Лазерные треки в неровной застывшей акриловой пленке на кварцевой подложке. Стрелка указывает направление лазерного луча.

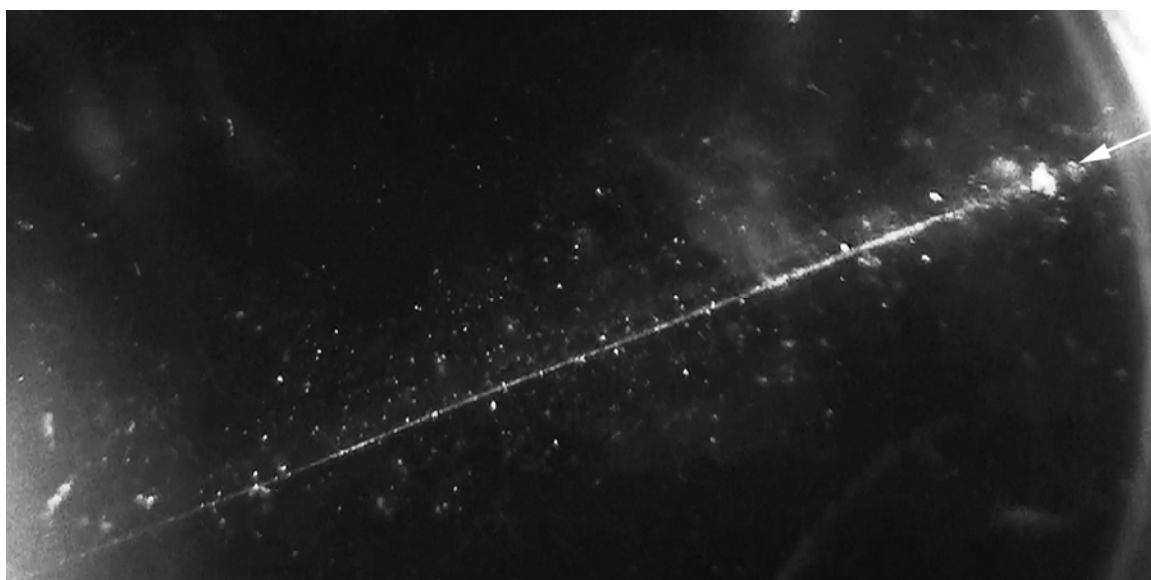


Рис.8. Лазерный трек в неровной застывшей акриловой пленке на кварцевой подложке.

Отраженный от такой пленки несфокусированный луч лазерной указки приобретал расходимость (в направлении перпендикулярном с регулярным полоскам) около одного градуса, что в предположении синусоидального профиля рядом расположенных полосок с периодом в 1 мм, позволяет определить величину характерного утолщения (амплитуду синусоиды) около 2 мкм. Это соответствует радиусу в максимуме утолщения пленки около 15 мм. Расчет ширины трека (каустики /10/) для пленки толщиной примерно 8 мкм с таким утолщением для излучения с длиной волны 532 нм дает величину около 15 мкм, что вполне согласуется с шириной наблюдаемых треков (Рис.9).

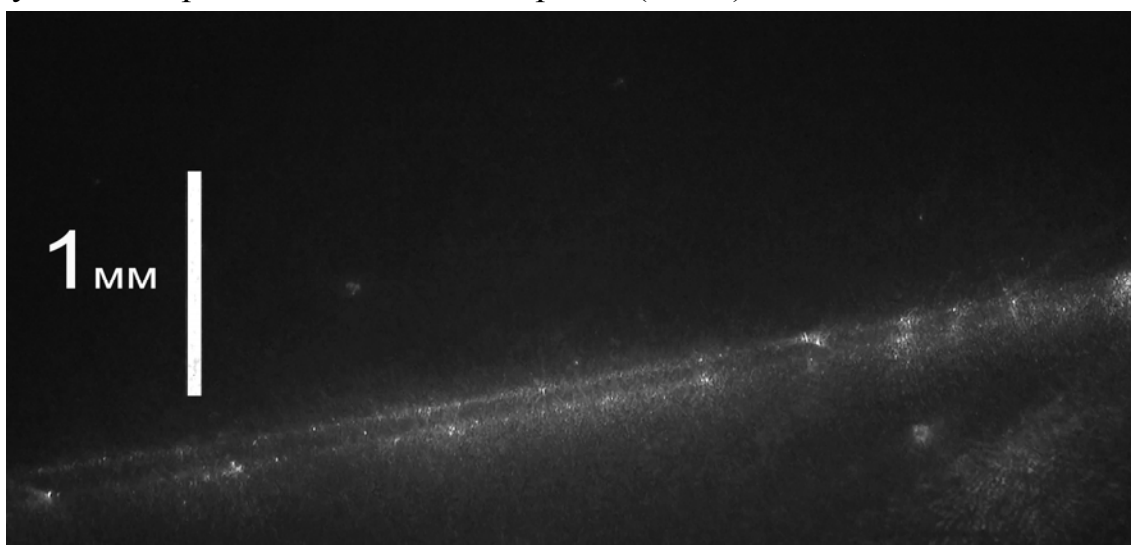


Рис.9. Треки в твердой акриловой пленке под микроскопом.

Это позволяет считать проведенный опыт с твердой пленкой вполне удачным и дает возможность рассматривать результаты существования треков в утолщениях профилированной твердой пленки как аргумент в пользу предлагаемого нами необычного механизма формирования треков в жидких пленках с помощью утолщения их световым давлением.

Суммируя свойства треков в тонких свободных и несвободных пленках разного вида, можно утверждать, что в общей Физической Энциклопедии при описании тонких жидких пленок /18/ должен появиться дополнительный раздел качественных и количественных изменений внутренней структуры тонких жидких слоев под воздействием маломощных потоков света, введенных в такие пленки.

Авторы выражают благодарность Яловому В.И. и Орлову В.С. за предоставление материалов для исследований.

Литература

1. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №2 (М. ФИАН, 2003) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/2/Stoilov.pdf> С приложенным кинофильмом).
2. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника, 33, 380 (2003);
3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника 34, 569 (2004).
4. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №22 (М. ФИАН, 2003) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/4/Stoilov1.pdf>).
5. Стойлов Ю.Ю. УФН, 174, 1359 (2004). (см. http://ufn.ru/ufn04/ufn04_12/Russian/r0412f.pdf)
6. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №12 (М. ФИАН, 2005) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/11/pdf12.pdf>).
7. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю., Савинов Ю.В.. Лазерные треки в тонких пленках. Отчет. Лаборатория Фотоники Молекул (ОКРФ). Москва. 2006. (см. <http://sites.lebedev.ru/data/1-2006.pdf>)
8. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №6 (М. ФИАН, 2007) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/18/pdf6.pdf> С приложенными кинофильмами).
9. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №5 (М. ФИАН, 2008) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/21/pdf5.pdf> С приложенными кинофильмами).
10. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №8. (М.: ФИАН, 2009) (см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2009_8.pdf)
11. Стойлов Ю. Ю. Патент RU №2403596 С1 от 9 апреля 2009 года.

12. Стойлов Ю.Ю. Фотоника, 1, 2 (2011).
(см. www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2466_322.pdf)
13. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №30. (М.: ФИАН, 2011) (см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/stoilov_cvet.pdf С приложенными кинофильмами)
14. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №2 (М.: ФИАН, 2012) (см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/04/stoilov_0212.pdf)
15. Н.И. Итинская, Н.А.Кузнецов "Топливо, масла и технические жидкости", 1989 (раздел «ОБЩИЕ СВОЙСТВА БЕНЗИНОВ»)
http://www.crazydrivers.narod.ru/AutoSite/Mashina/Remont/11052004/Benzin_1.html
16. Brown C. V., Wells G. G., Newton M. I., McNale G. NATURE PHOTONICS | VOL 3 | JULY 2009 p.403.
17. Кайтуков В.М. "Эволюция диктата" (М.: "Урамос", 1991, 468), (см. <http://www.philosophyevolution.com/index.htm>)
18. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. — М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров. 1988.
http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4946

Подписано в печать 14.05.2012 г.
Формат 60х84/16. Заказ №32. Тираж 150 экз. П.л 0,75.
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640