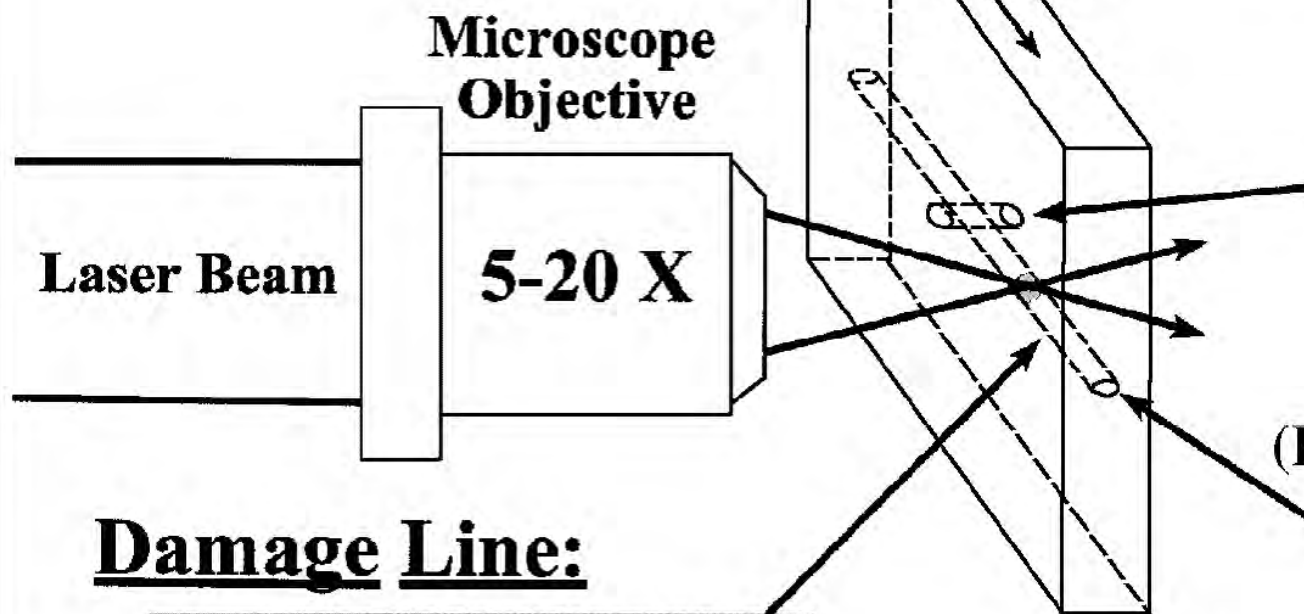


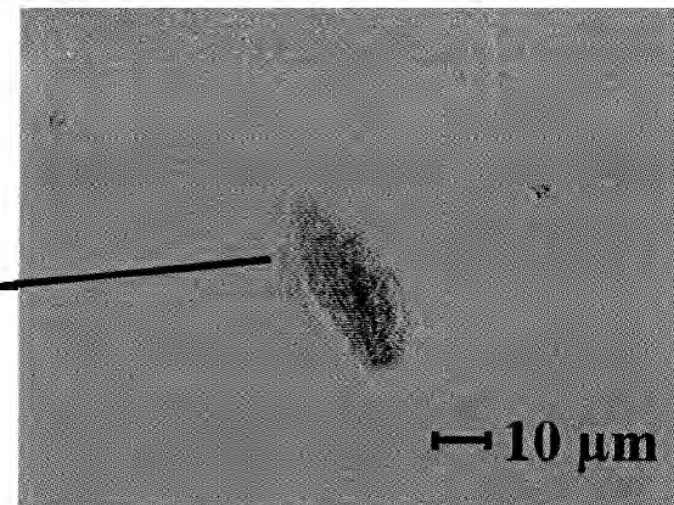
## 11.5 Запись элементов микрооптики

Фемтосекундные импульсы в прозрачных диэлектриках позволяют осуществлять фотоиндуцированную микромодификацию твердотельных оптических материалов, не вызывая их термического разрушения

Перемещение образца со скоростью 0,1÷10 мм/с

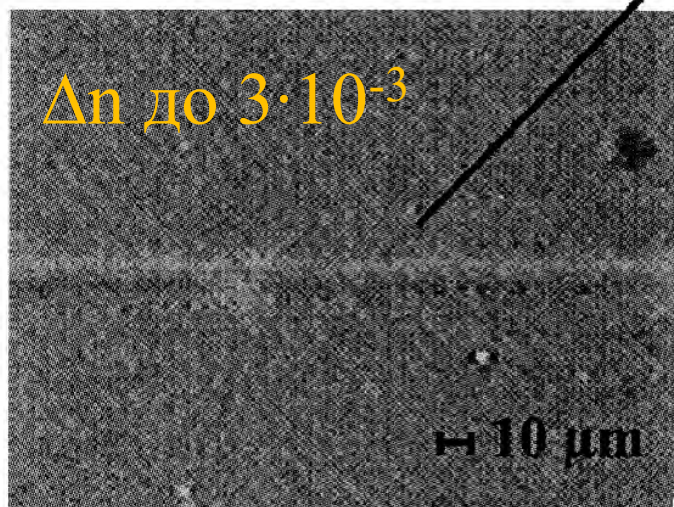


## Cross Sections:



(B) Formed Parallel to Laser Beam

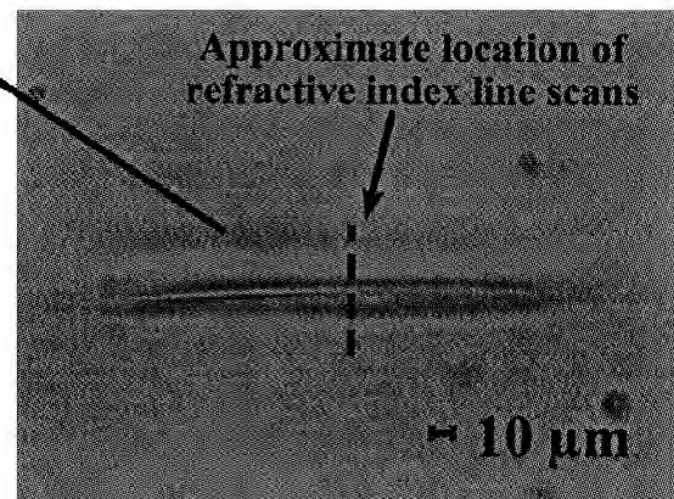
## Damage Line:



(A) Formed Perpendicular to Laser Beam

Silica Glass Sample

Изменение  $\Delta n$  без разрушения при экспозиции до 40 Дж/см<sup>2</sup>



(C) Formed Perpendicular to Laser Beam

# Изменение показателя преломления и объемной плотности материала, роль температуры и время формирования модификаций

- При плотности энергии импульсов  $8 \div 10$  Дж/см<sup>2</sup> приращение  $\Delta n \sim 3 \cdot 10^{-4}$ , объемной плотности материала  $\sim 0,1\%$ , что эквивалентно изменению температуры кварца на  $500$  °С - такая температура не достигается => температура не является решающим фактором в процессе возникновения модификаций.
- при увеличении энергии до  $40$  Дж/см<sup>2</sup> приращение достигает  $5 \cdot 10^{-2}$ , плотности  $\sim 11\%$
- Время разрешенным теневым и интерферометрическим методами показано, что концентрация электронов в лазерной плазме достигает  $5 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>.
- По изменению энергии запаздывающего пробного импульса, рассеянного на области модификации, создаваемого импульсами (800 нм, 110 фс, 1 кГц) определено, что время формирования структурных изменений в материале составляет около **35 пс**.

Chan J. W., et al. *Optics Lettrs*, **26**, 1726 (2001); Quan Sun, et. al. *Opt. Lett.*, **30**, 320 (2005).  
Sung-Hak Cho, Hiroshi Kumagai, Katsumi Midorikawa, *Optics Commun.*, **207**, 243 (2002).

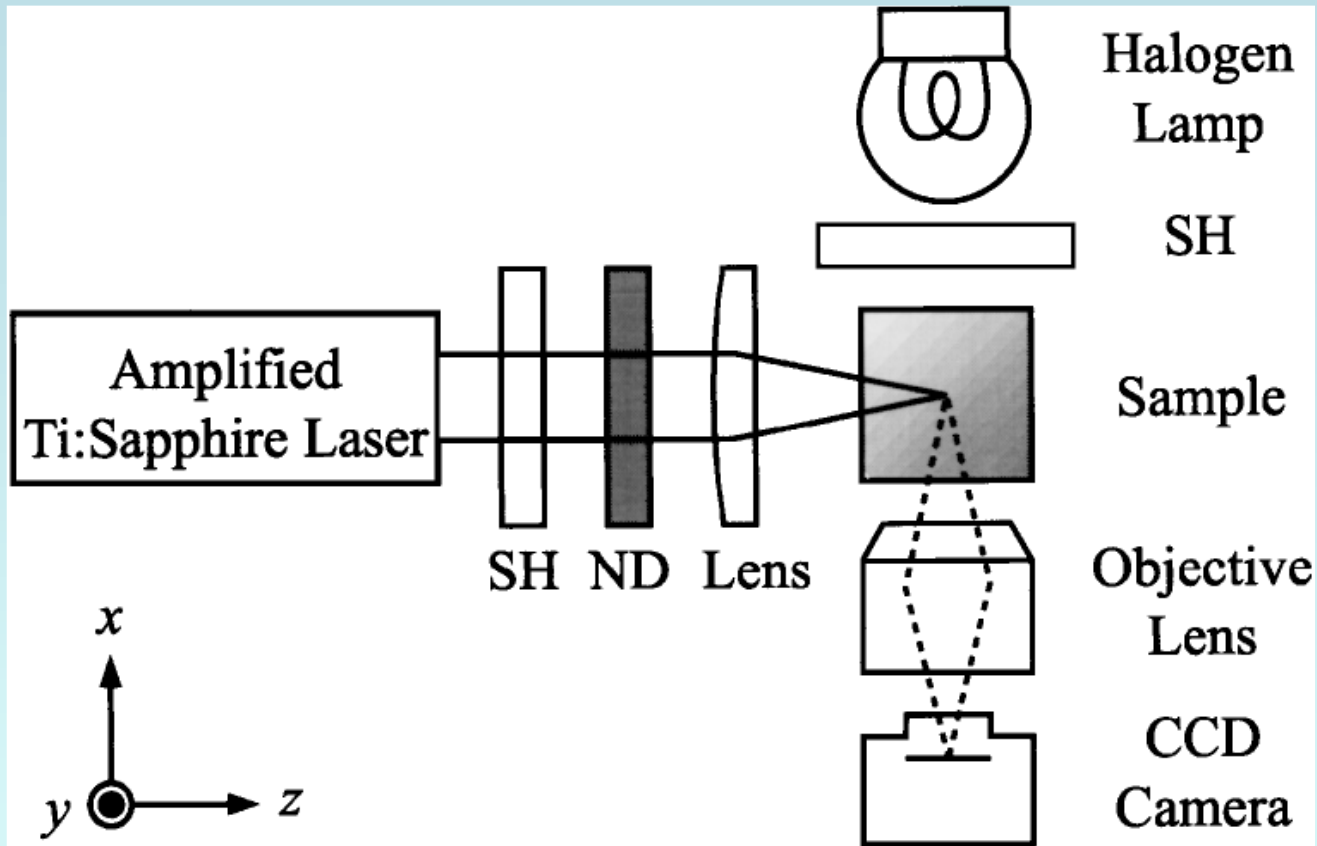


# Различные режимы микромодификации

- Первая необратимая модификация материала с  $\Delta n = 5 \cdot 10^{-3}$  является изотропной, и может быть отождествлена при температуре 600 °С, другая с  $\Delta n = 10^{-2}$  соответствует возникновению локального двойного лучепреломления и сохраняется после отжига при температуре 900 °С в течение одного часа.
- Исследования сколов плавленого кварца, показали, что в материале возникают сдвиговые напряжения. Порог микро-модификации возрастает с уменьшением длительности.

Sudrie L., Franco M., Prade B., Myzyrowicz A. *Optics Commun.*, **171**, 279 (1999); **191**, 333 (2001).  
Poumellec B., Sudrie L., Franco M., et. al. *Optics Express*, **11**, 1070 (2003).

# Эксперимент по микромодификации материала в условиях филаментации



**Образец остается неподвижным, слабая**  
фокусировка ( $R_f = 10$  см,  $NA=0,01-0,05$ )

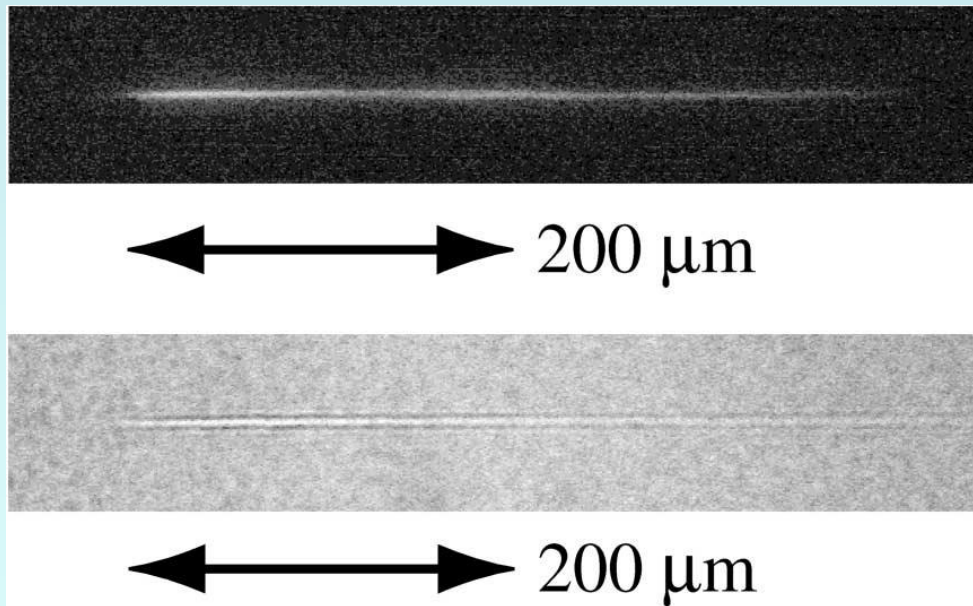
800 нм, 130 фс, 1кГц

Кварцевое стекло: 3x2x20 мм

# Микромодификации при филаментации

Наведенный канал, в общем случае, зависит от времени экспозиции, длительности, энергии импульса.

Филамент

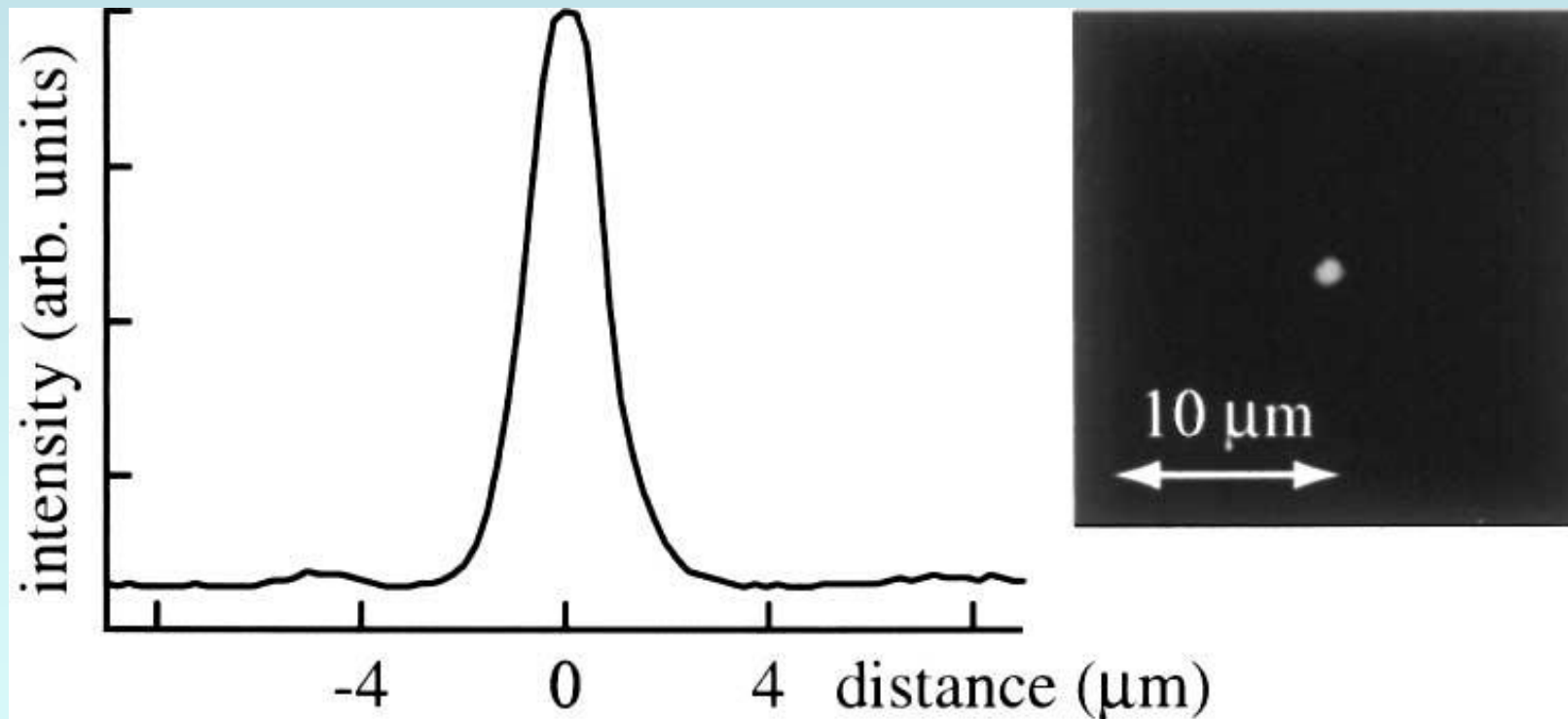


Канал модификации  $\Delta n$

- Канал микромодификаций в филаменте с увеличением времени экспозиции **нарастает навстречу излучению**.
- Его **длина насыщается** на уровне **500 мкм** при времени экспозиции 30 минут импульсов энергией  $0,7 \div 2,3$  мкДж (1 КГц), сфокусированных линзой с числовой апертурой  $NA = 0,05$ .
- С увеличением числовой апертуры  $NA$  время насыщения и длина канала сокращаются. При этом остаются неизменными **диаметр  $\sim 1,7$  мкм**, и приращение в нем показателя преломления, равное  **$0,8 \cdot 10^{-2}$** .

# Формирование микроволновода внутри кварцевого стекла

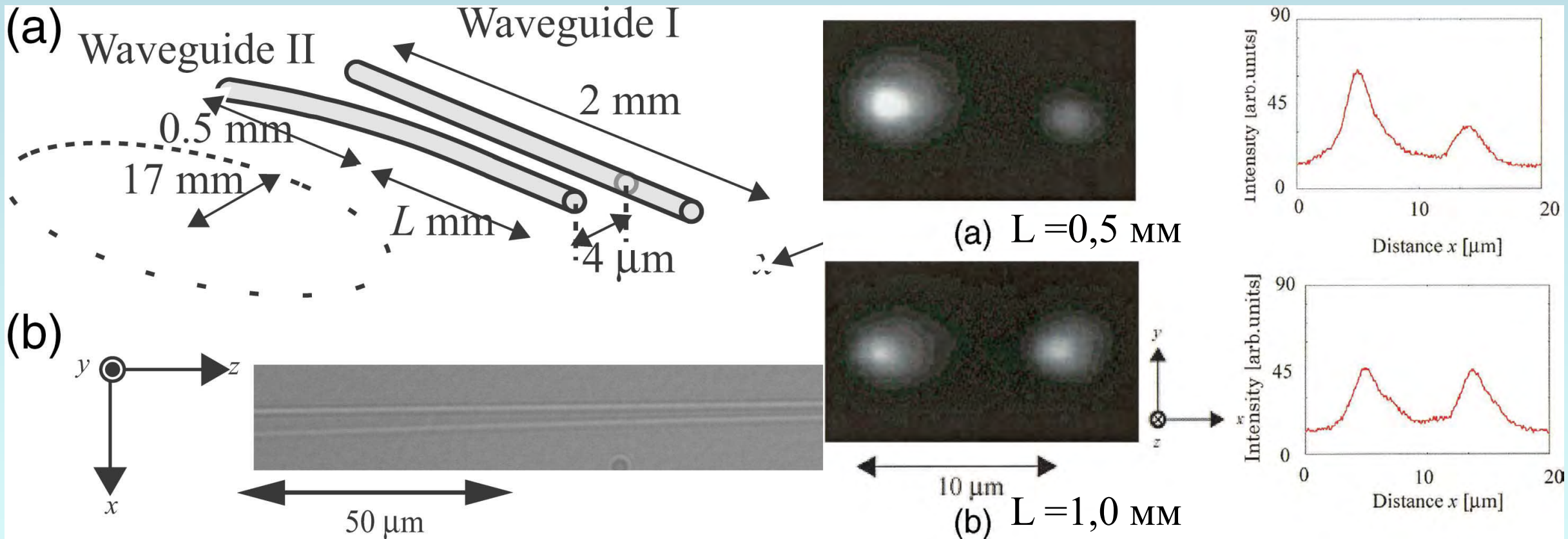
С помощью продольного, вдоль оптической оси, перемещения образца со скоростью 1 мкм/с был получен волновод длиной 2 мм



Пучок He–Ne лазера мощностью 2 мВт был заведен в волновод с помощью 0,55-NA объектива.

**Профиль пучка на выходе волновода**

# Волноводный ответвитель



Излучение He-Ne лазера заводилось в прямой волновод.  
Коэффициент ответвления: 1:0,5 (a) и 1:1 (b)



# Элементы микрооптики, полученные в режиме филаментации

---

- волноводные ответвители;
- гексагональные массивы связанных волноводов;
- дифракционные решетки;
- фокусирующие транспаранты;
- другие элементы микрооптики.