

Волоконный оптический параметрический генератор на основе волокна с сохранением поляризации

Е.А. Злобина, С.И. Каблуков, С.А. Бабин.

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск

Цель: эффективное преобразование частоты **непрерывного** когерентного излучения с помощью **поляризационного** метода согласования фаз.

Диапазон длин волн вблизи 1 мкм

Дисперсионный метод согласования фаз - вблизи длины волны нулевой дисперсии волокна – фотоникристаллические волокна
Эффективность преобразования в высокочастотную область $\leq 0,3 \%$

Непрерывные ВОПГ – вблизи 1,55 мкм.

Эффективность преобразования в высокочастотную область до **15 %**

Поляризационный метод согласования фаз - двулучепреломляющие световоды (волокна с сохранением поляризации)

Только импульсная накачка в односторонней схеме! Нет ВОПГ!

Andersen T.V., et al, Opt. Express 12, 4113-4122 (2004)

Xu Y. Q., et al, Journal of the Optical Society of America B 26, 1351-1356 (2009).

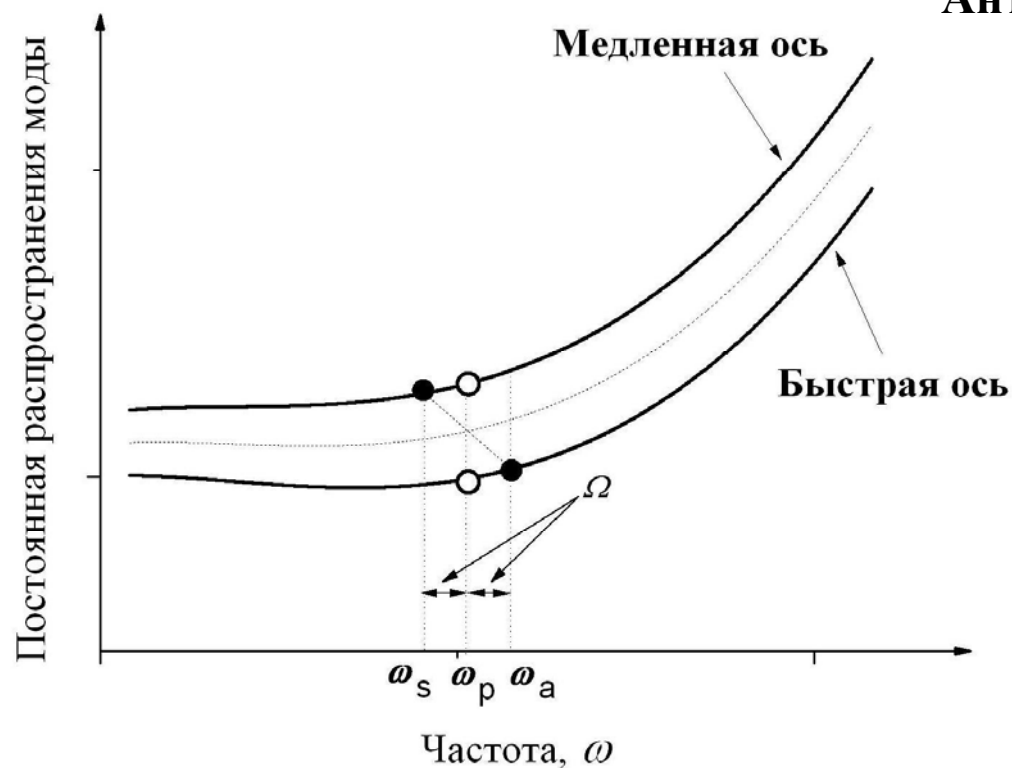
Malik R., Marhic M.E., in National Fiber Optic Engineers Conference, OSA 2010, paper JWA18

Согласование фаз в волокне с сохранением поляризации (данный тип используется в эксперименте)

Накачка → медленная и быстрая оси.

Стоксова компонента → медленная ось

Антистоксова компонента → быстрая ось



$$\Omega = \omega_a - \omega_p = \omega_p - \omega_s$$

$$\Delta\beta = \beta_a + \beta_s - \beta_{p1} - \beta_{p2} = 0$$



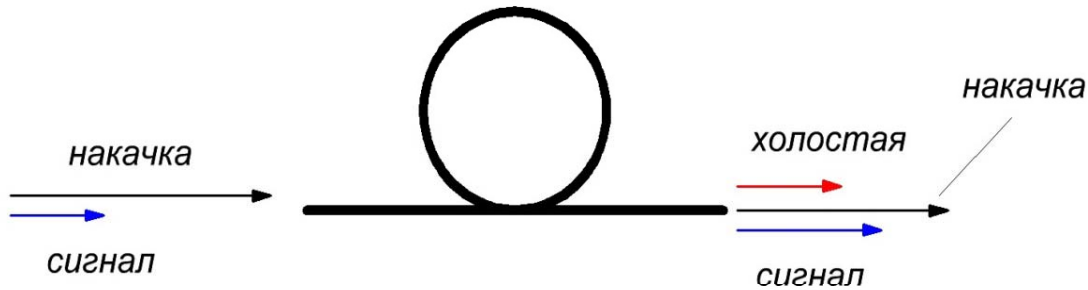
$$\Omega = \frac{\delta n}{|\beta_2| \cdot c}$$

δn — разница показателей преломления медленной и быстрой осей (двулучепреломление).

β_2 — параметр дисперсии групповых скоростей.

Волоконный параметрический преобразователь частоты

Оптическое волокно



Ширина фазового синхронизма

$$\Delta\omega \propto \frac{2\pi c}{L \cdot \Delta n}$$

$$\approx 0,07 \text{ нм для } L = 35 \text{ м}$$

$$\approx 0,03 \text{ нм для } L = 85 \text{ м}$$

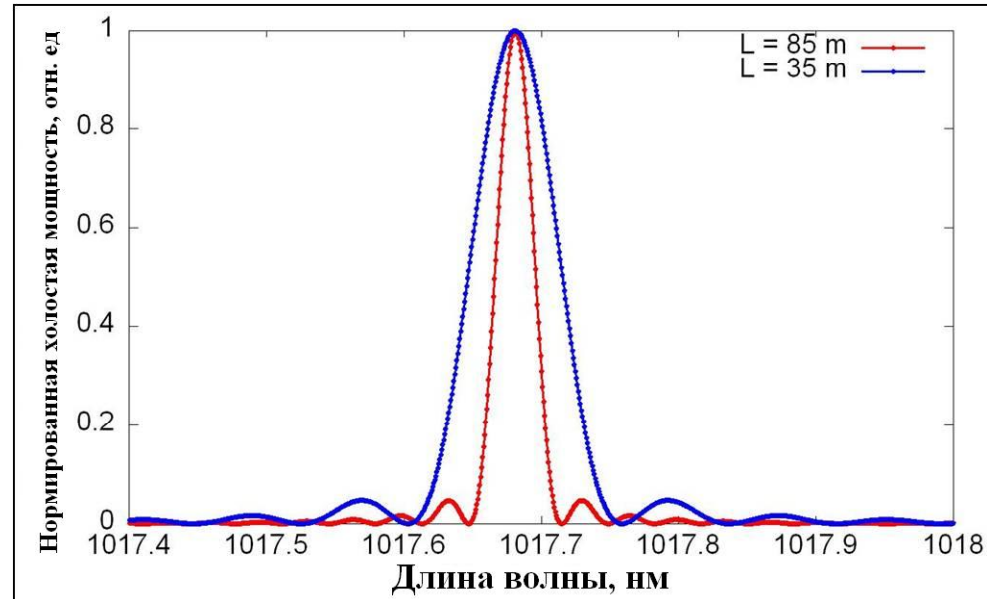
Мощность холостой волны

$$P_i(L) = P_s(0) \cdot \left(\frac{\gamma P_p}{g} \right)^2 \cdot \sinh^2(gL),$$

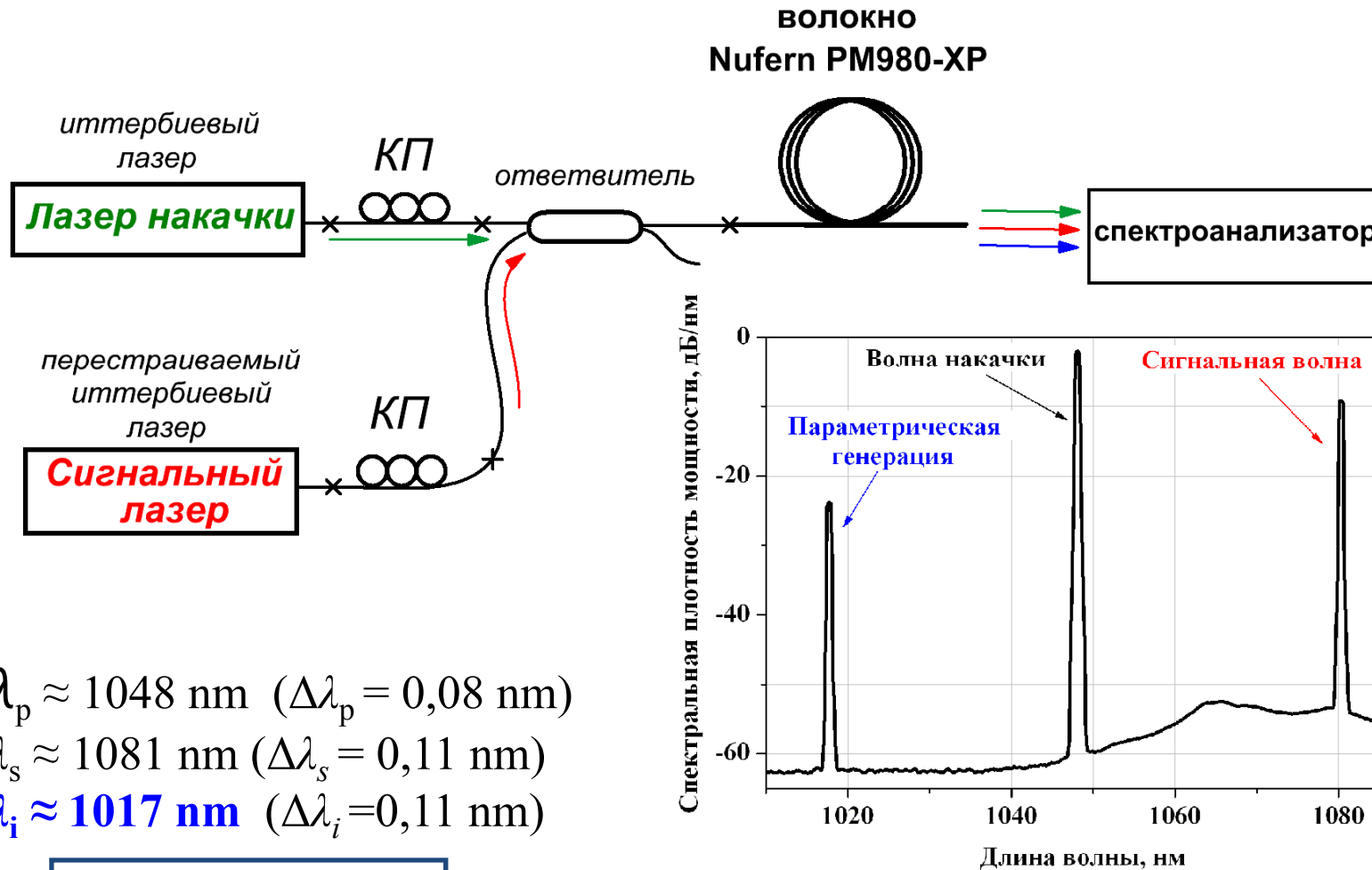
$$\text{где } g = \sqrt{(\gamma P_p)^2 - \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right)^2}$$

$\xi = (\gamma P_p L)$ – нелинейность волокна

$$\xi \ll 1, \\ P_i(L) \rightarrow P_s(0) \cdot \xi^2 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\Delta\beta \cdot L}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta\beta \cdot L}{2}\right)^2}$$



Экспериментальная установка (однопроходная схема)



$$\lambda_p \approx 1048 \text{ nm} \quad (\Delta\lambda_p = 0,08 \text{ nm})$$

$$\lambda_s \approx 1081 \text{ nm} \quad (\Delta\lambda_s = 0,11 \text{ nm})$$

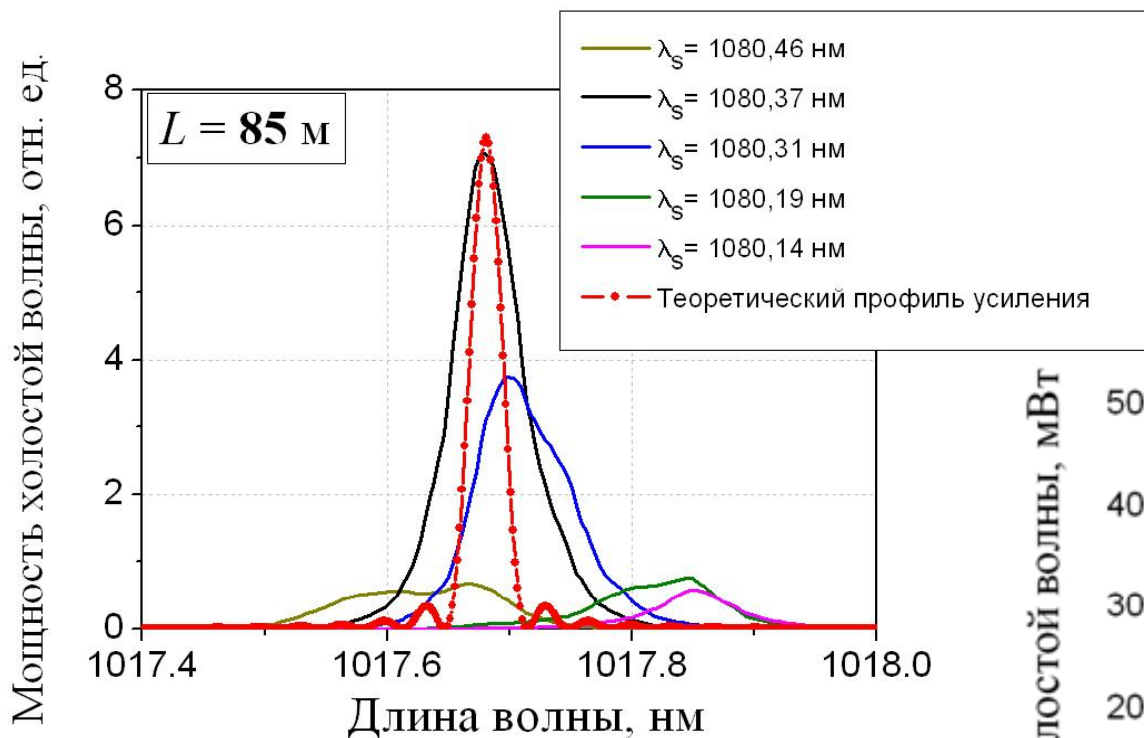
$$\lambda_i \approx 1017 \text{ nm} \quad (\Delta\lambda_i = 0,11 \text{ nm})$$

$$\Omega \approx 8,6 \text{ ТГц}$$

Сигнальная волна = стоксова компонента
Холостая волна = антистоксова компонента

$$\text{Оценка: } \delta n = 3,6 \cdot 10^{-4}, \quad \beta_2 \approx 20,6 \text{ пс}^2/\text{к м} \Rightarrow \Omega \approx 9,2 \text{ ТГц}$$

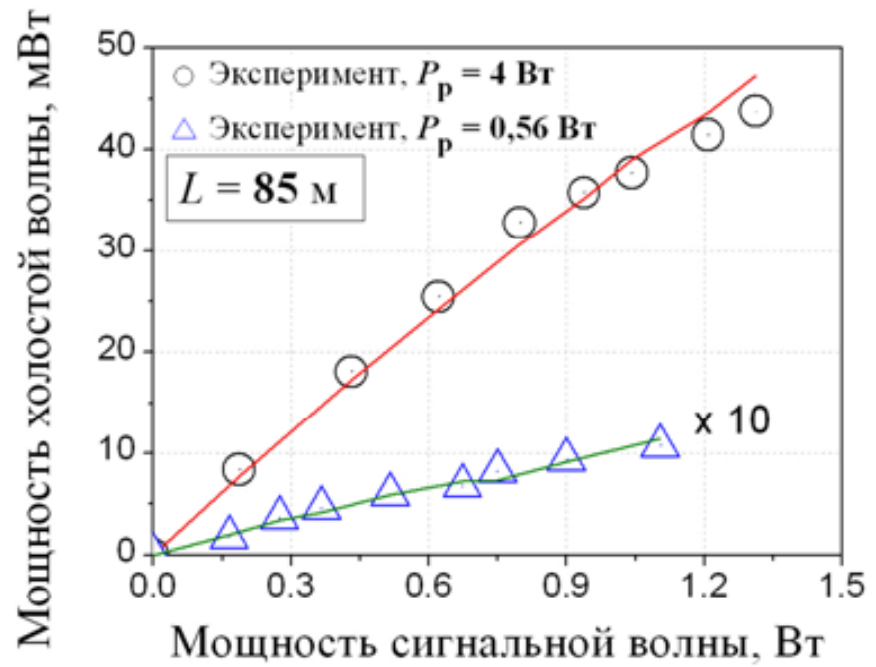
Спектр и мощность генерируемой волны , $L = 85$ м



$$P_i = \xi^2 \cdot P_s = (\gamma \cdot L)^2 \cdot P_p^2 \cdot P_s = \eta \cdot P_p^2 \cdot P_s$$

Аппаратная функция спектроанализатора
0.025 нм

Расчетная величина ширины фазового синхронизма $\approx 0,03$ нм



Мощность генерируемой волны превышает **40 мВт**

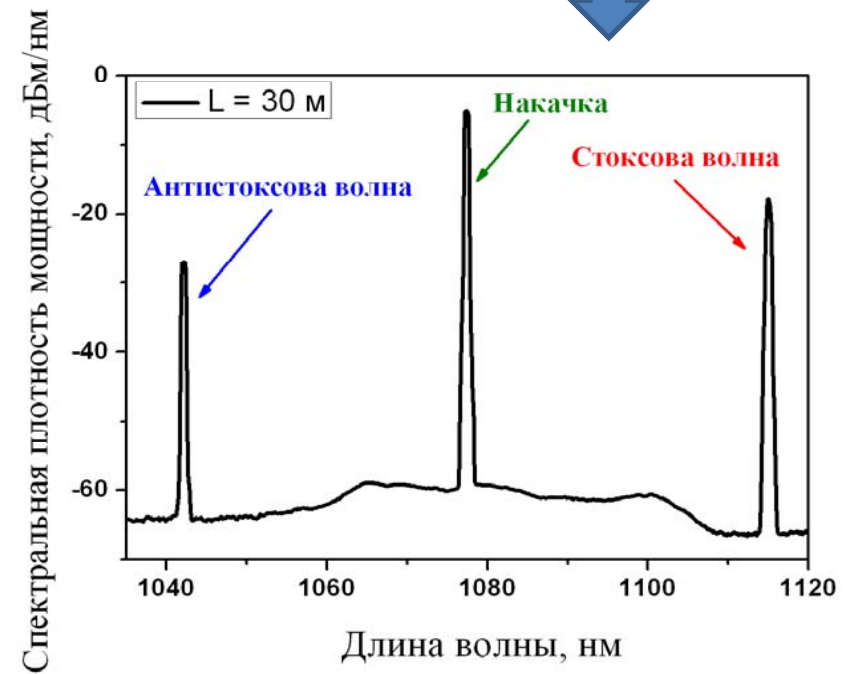
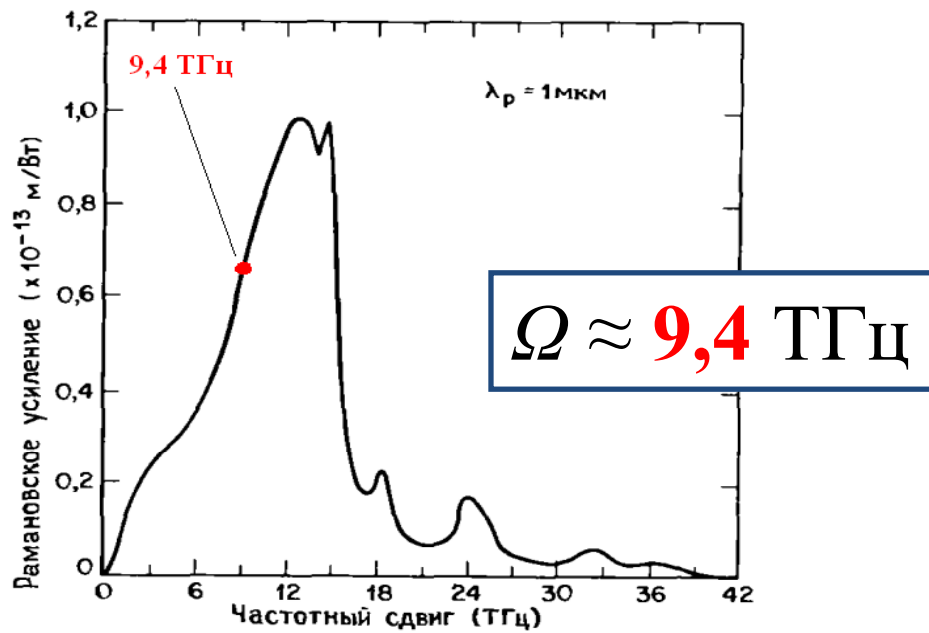
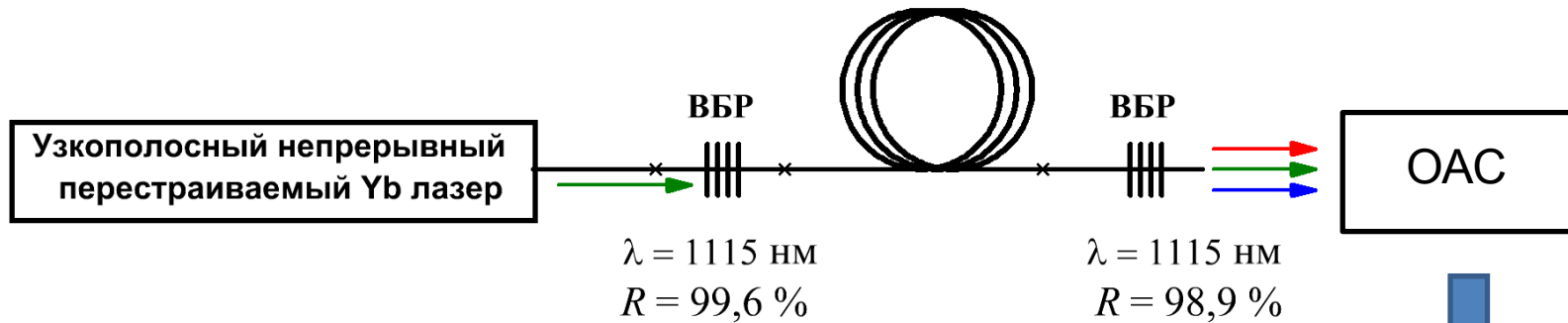
Экспериментальная эффективность преобразования

Теоретически возможная - $\xi^2 = (0.44)^2 = 20\%$

$$\frac{P_i(L)}{P_s(0)} = 3,3\%$$

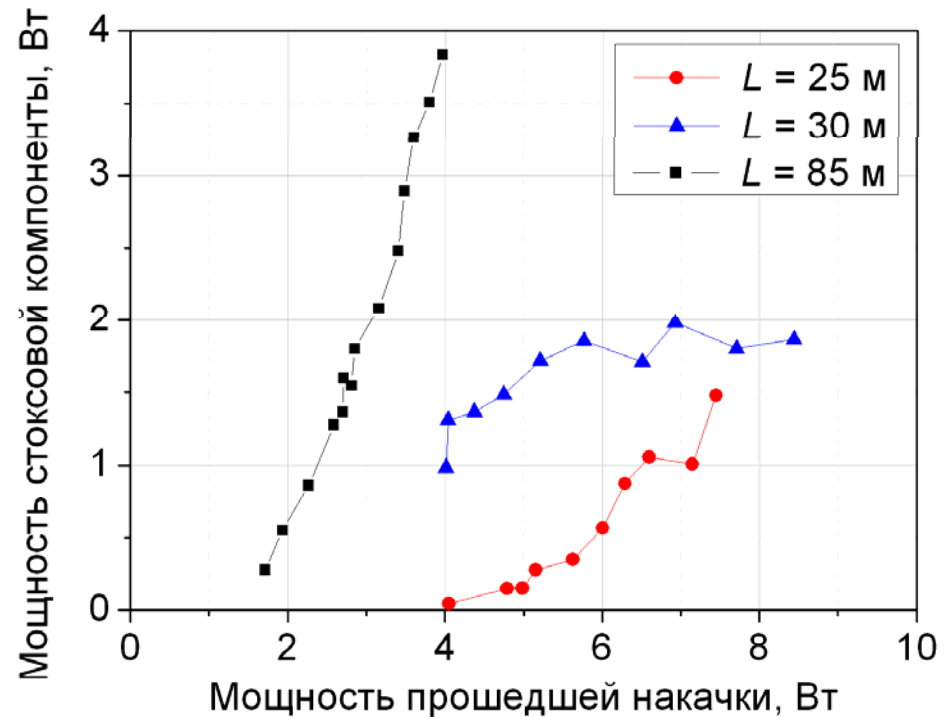
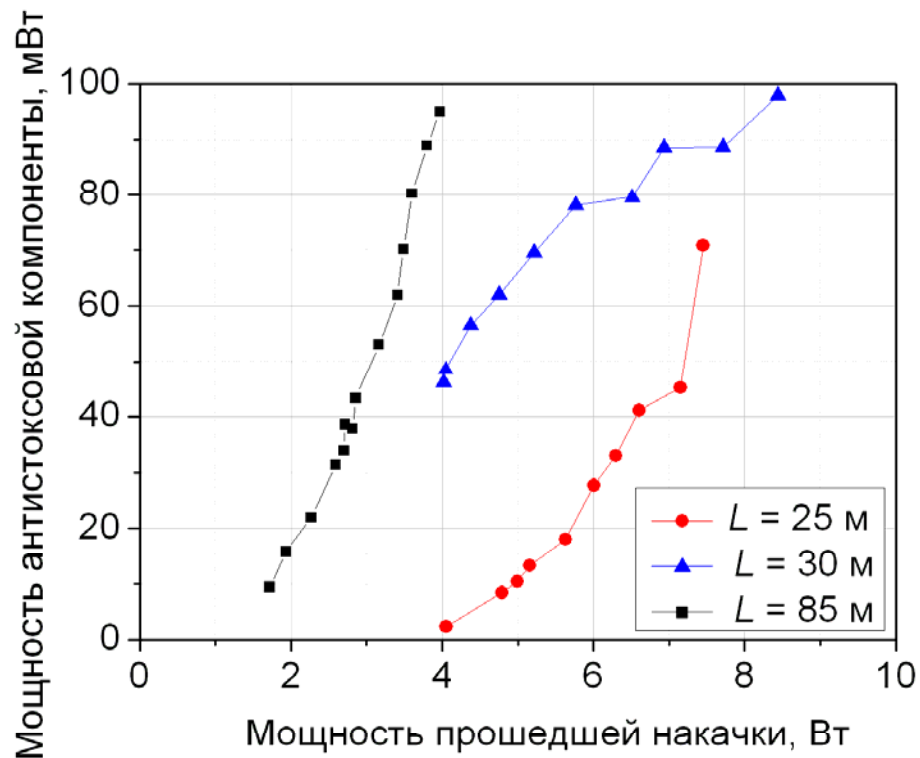
Схема ВОПГ с резонатором для стоксовой компоненты

Волокно
Nufern PM980-XP



$\lambda_p \approx 1077,4 \text{ nm}$, $\lambda_s \approx 1115 \text{ nm}$, $\lambda_a \approx 1042,2 \text{ nm}$

Мощности генерируемого излучения



Мощность антистоксовой компоненты возросла до **100 мВт**

Ширина линии антистоксовой компоненты $\sim 0,1$ нм для $L = 85$ м

$$\text{Эффективность преобразования } \frac{P_a(L)}{P_p(0)} \approx 1\%$$

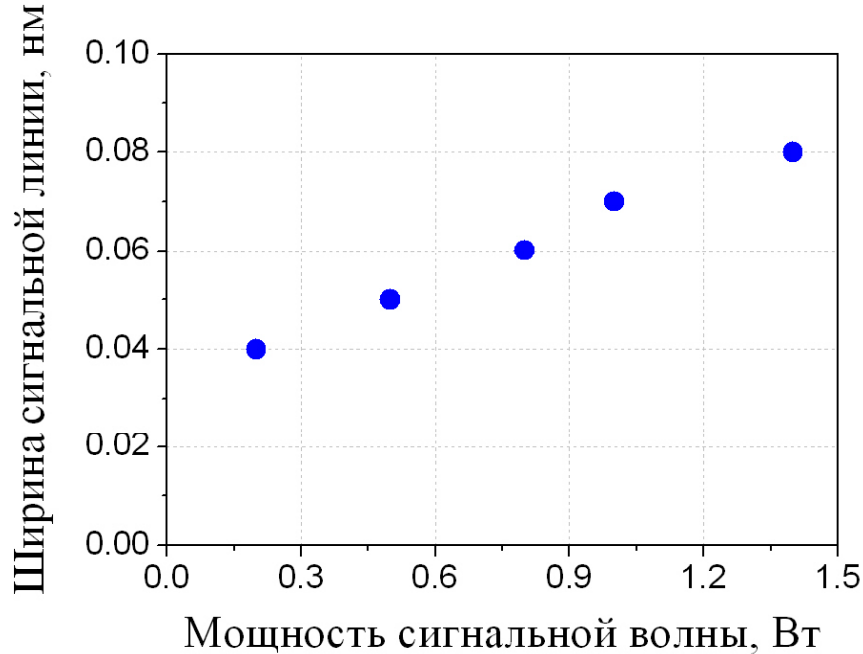
Результаты

1. В двулучепреломляющем волокне впервые продемонстрирована непрерывная параметрическая генерация со сдвигом частоты в высокочастотную область спектра на 8,6 ТГц.
2. Эффективность преобразования составила 3,3%, что превышает результаты для непрерывного параметрического преобразования с увеличением частоты в области 1 мкм в фотоникристаллических волокнах.
3. Для увеличения эффективности преобразования до теоретически возможных 20% необходимо уменьшить ширину лазерных спектров до ширины фазового синхронизма.
4. Впервые продемонстрирован ВОПГ с поляризационным механизмом согласования фаз, работающий в непрерывном режиме генерации. Мощность антистоксовой волны составила 100 мВт.
5. Использование поляризационного механизма согласования фаз в двулучепреломляющих фотоникристаллических волокнах позволит получить поляризованный узкополосный источник излучения в области < 1 мкм.

Спасибо за внимание

Возможная причина снижения эффективности преобразования

Ширины линий генерации лазеров



$$P_p = 0,5 \text{ Вт} \rightarrow \Delta\lambda_p = 0,03 \text{ нм}$$
$$P_p = 4 \text{ Вт} \rightarrow \Delta\lambda_p = 0,07 \text{ нм}$$

Расчетная ширина фазового синхронизма

$$0,07 \text{ нм} (L = 35 \text{ м})$$

$$0,03 \text{ нм} (L = 85 \text{ м})$$

$L, \text{ м}$	$P_p, \text{ Вт}$	$\eta, 10^{-3} \cdot \text{Вт}^{-2}$	$\gamma, \text{ км}^{-1} \text{ Вт}^{-1}$
85	4	5	0.8
	0.56	7,2	1
35	3.8	1,6	1,1
	0.5	3	1,5

$$\eta = (\gamma \cdot L)^2$$

Эксперимент:

$$\gamma = 3 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ км}^{-1} \text{ Вт}^{-1}$$

Оценка:

$$\gamma \approx 3,7 \text{ км}^{-1} \text{ Вт}^{-1}$$