



Легированные висмутом волоконные световоды – новый прорыв в лазерной технике

Е.М. Дианов

Научный центр волоконной оптики РАН

Москва, ул.Вавилова, 38

Тел. (499) 135-05-66, e-mail: dianov@fo.gpi.ru

Содержание

- Зачем нужны легированные висмутом волоконные световоды?
- Спектрально-люминесцентные свойства стекол, легированных висмутом
- Создание легированных висмутом волоконных световодов
- Разработка висмутовых волоконных лазеров и оптических усилителей
- Заключение

Состояние волоконно-оптической связи в мире (2011 г.)

- ◆ Скорость передачи информации по одному волоконному световоду:
 - коммерческие системы:* до 10 Терабит/с
 - экспериментальные системы:* до 100 Терабит/с
- ◆ Волоконный световод приходит в каждый дом.
В 2015 году 5 миллиардов человек будут постоянно пользоваться интернетом.
- ◆ Земной шар покрыт сетью волоконных световодов общей длиной 1000 млн.км., к 2015 г. – эта цифра удвоится.
- ◆ Мировой поток передаваемой информации растет на 30-40% в год (1.5-2 дБ).
Через 20 лет: $100 \text{ Тбит/с} \cdot 10^4 = 1000 \text{ Пбит/с}$ (1 Экзабит/с)

Что ограничивает скорость передачи информации?

- WDM (Wavelength Division Multiplexing – Спектральное уплотнение каналов):

$$V(\text{бит/с}) = b(\text{бит/с}) \cdot N$$

N – число спектральных каналов;

b – скорость передачи информации в одном спектральном канале

$$b = \underline{10 \text{ Гбит/с}}, \underline{40 \text{ Гбит/с}},$$

100 Гбит/с, 200 Гбит/с, 500 Гбит/с, 1 Тбит/с(?)

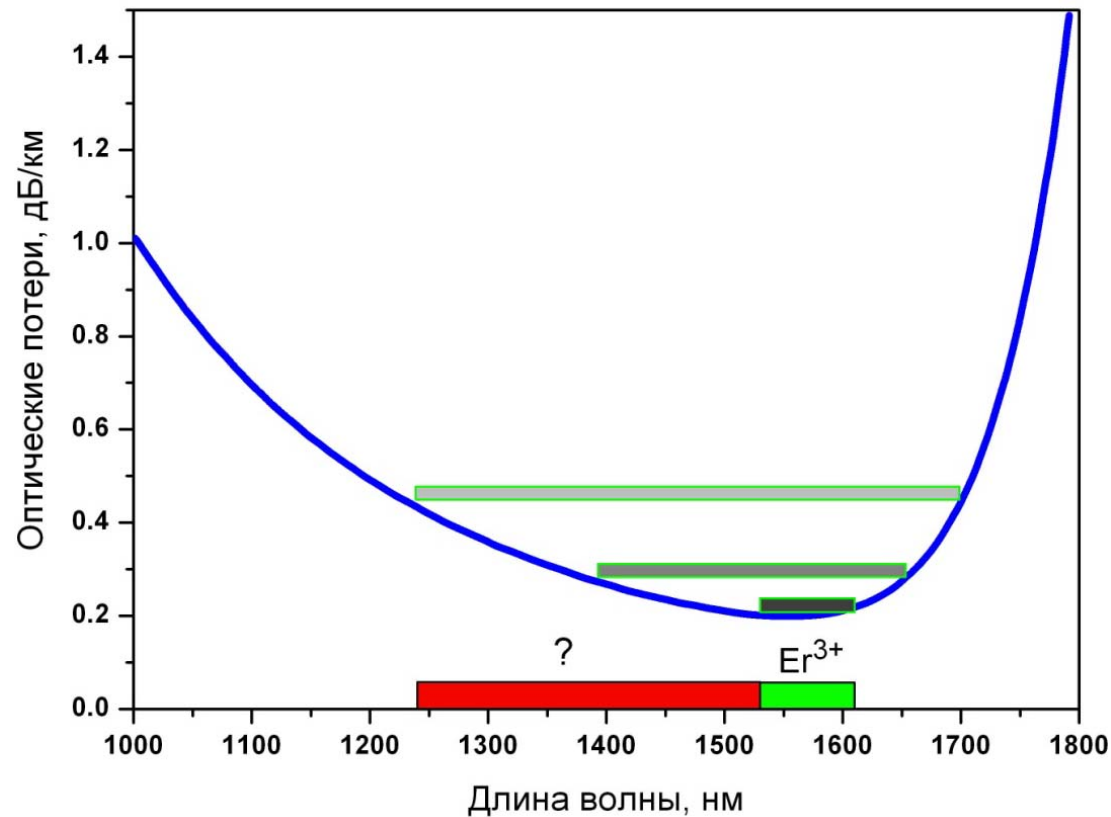
$$N = 50 - 150$$

- Ограничения: мощность сигналов растет по мере роста b и N , приводя к возникновению нелинейных явлений и разрушению световодов (fuse effect); сильное увеличение числа каналов N может приводить к перекрестным помехам

Способы увеличения скорости передачи информации

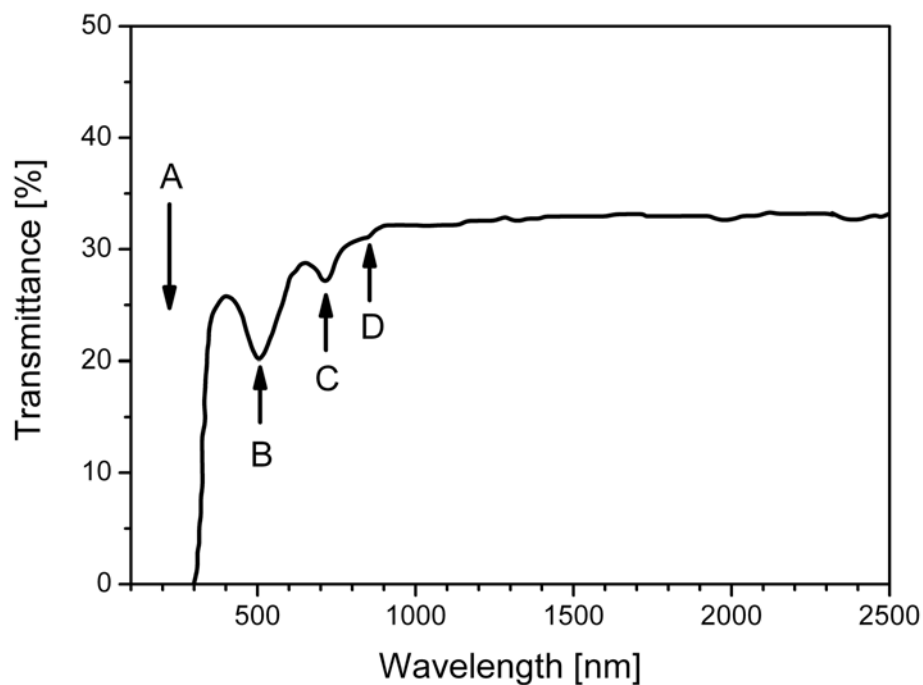
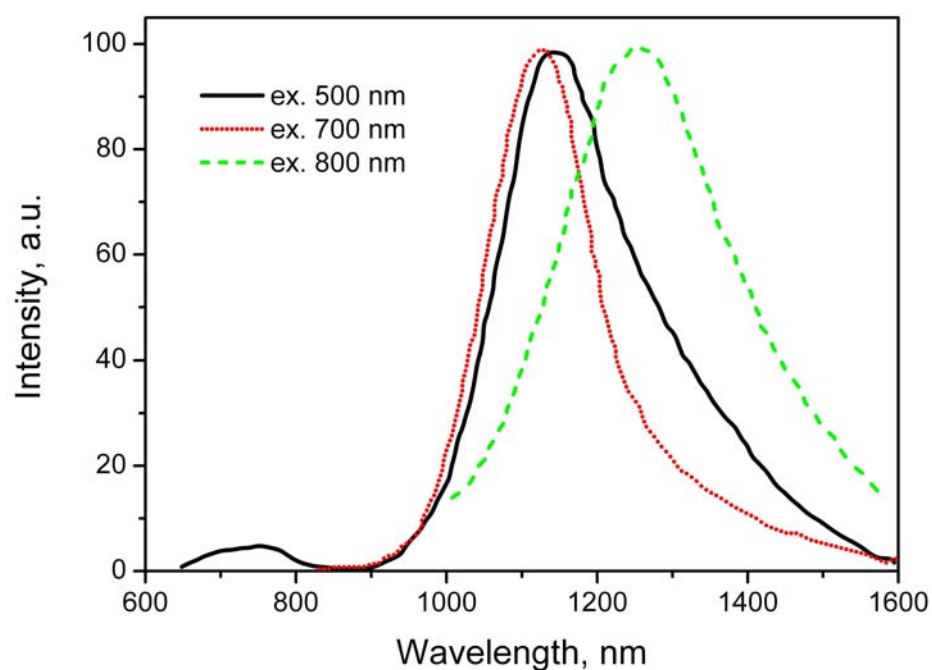
- **Использование многомодовых волоконных световодов** (*модовое уплотнение каналов*).
- **Использование многосердцевинных волоконных световодов** (*пространственное уплотнение каналов*).
- **Расширение спектрального диапазона** для передачи информации (*максимум 1300 – 1700 нм*), для этого необходимо создать новые оптические волоконные усилители с параметрами, сравнимыми с EDFA (Er-doped fiber amplifier).

Прогноз развития волоконно-оптической связи до 2025 г.



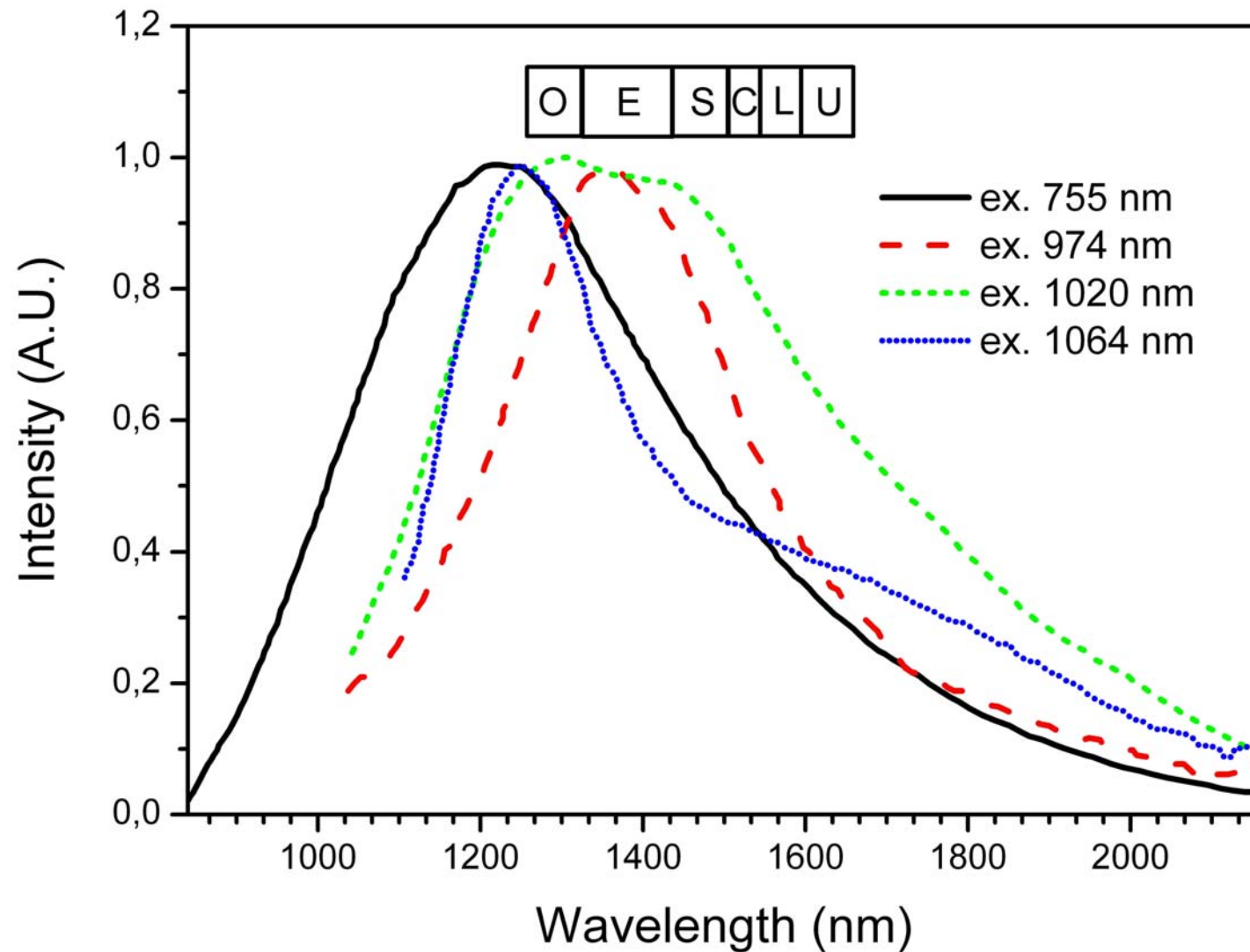
- волоконные лазеры и усилители для спектральной области 1300-1500 нм
- волоконные световоды с низкой нелинейностью, большим диаметром сердцевины, полые

Спектры люминесценции и пропускания $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ стекла, легированного висмутом



1. K. Murata, Y. Fujimoto, T. Kanabe, H. Fujita, M. Nakatsuka. *Fusion Engineering and Design*, **44**, 437 (1999).
2. Y. Fujimoto and M. Nakatsuka, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L279 (2001).

Спектры люминесценции GLS стекол, легированных висмутом



**Первые висмутовые волоконные
световоды и лазеры**

V.V. Dvoyrin et al., ECOC'2005

T. Haruna et al., OAA'2005

E.M. Dianov et al., Quant. Electron., 35, 1083 (2005)

**Редкоземельные элементы: проблемы,
связанные с единственным поставщиком**

Marcus Extravour “Rare-earth Elements:
High demand, Uncertain supply”

Optics&Photonics News, p.41, July/August (2011)

Peter Wray “Rare-earth revisited: Global jockeying
intensifies in response to shortages and
soaring prices”

American Ceram. Soc. Bulletin, 90, №6, p.30 (2011)

Спектральная область лазерной генерации висмутовых волоконных лазеров

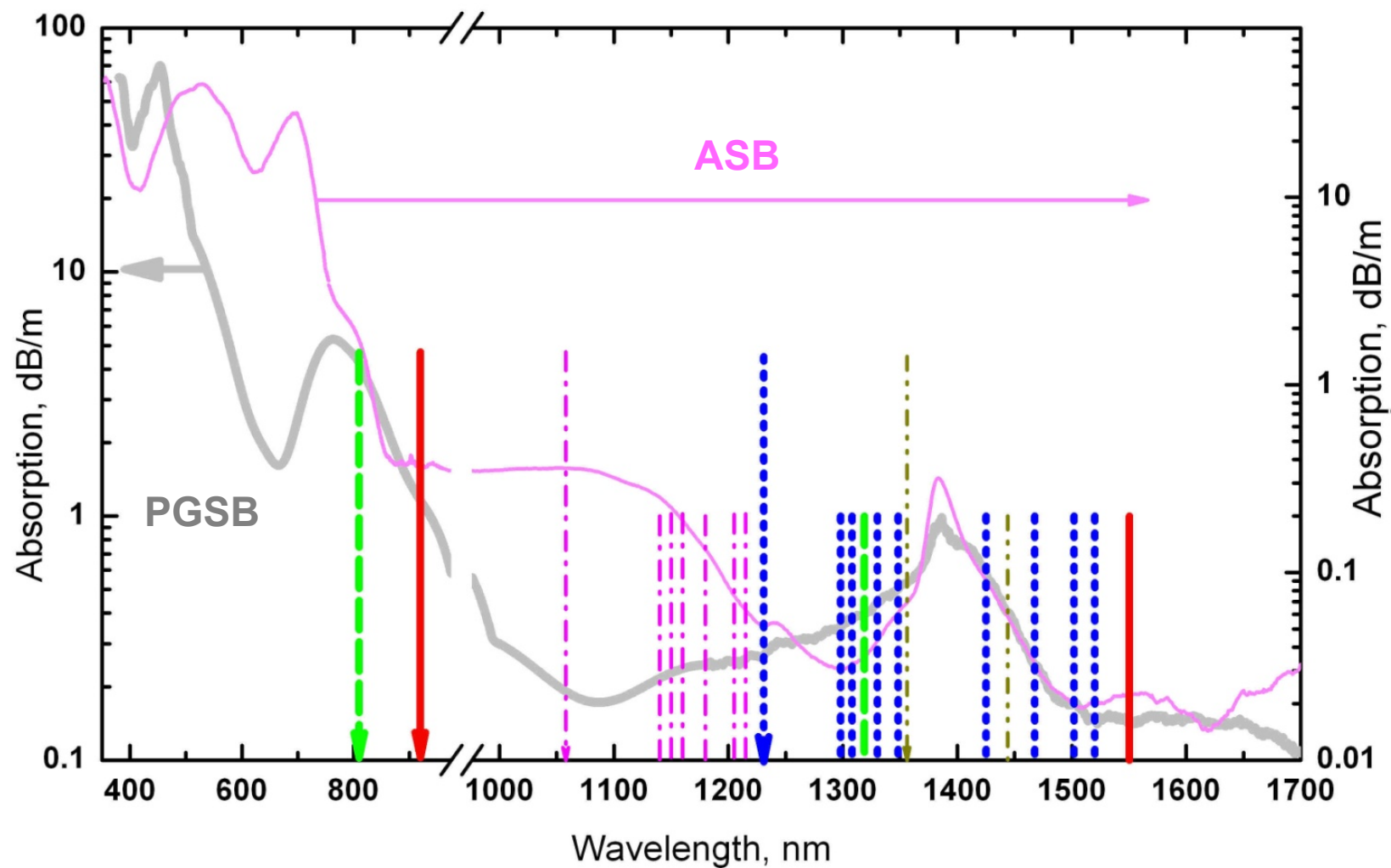
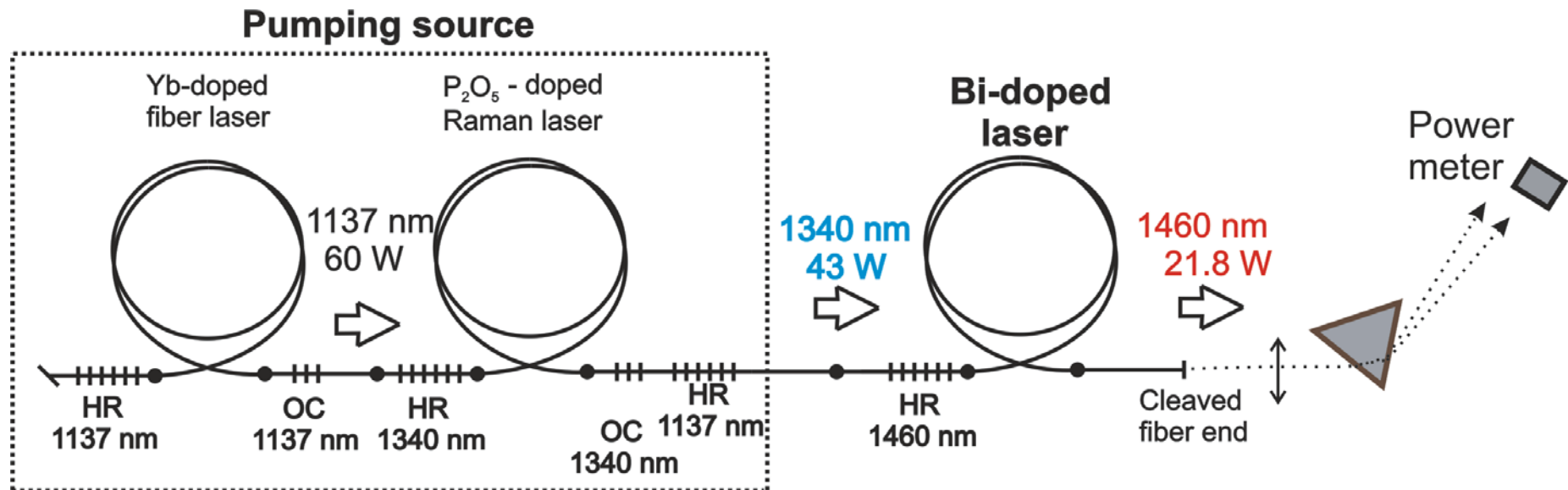
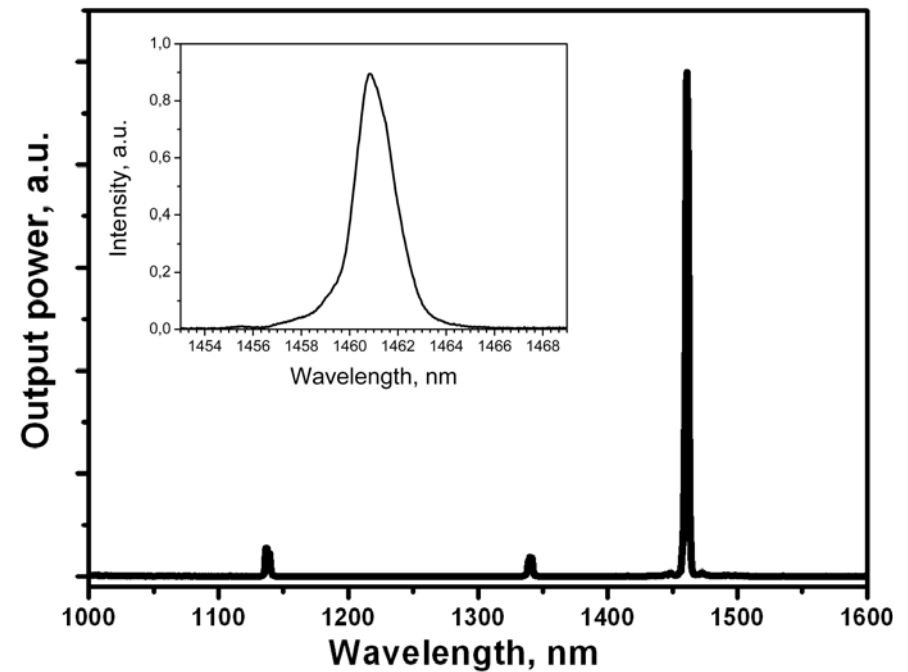
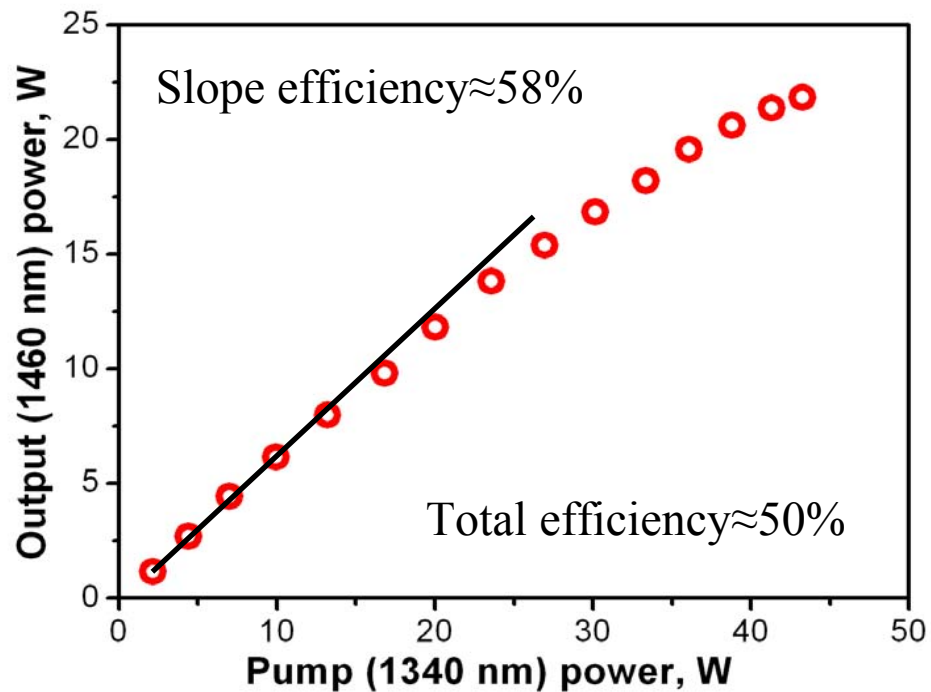


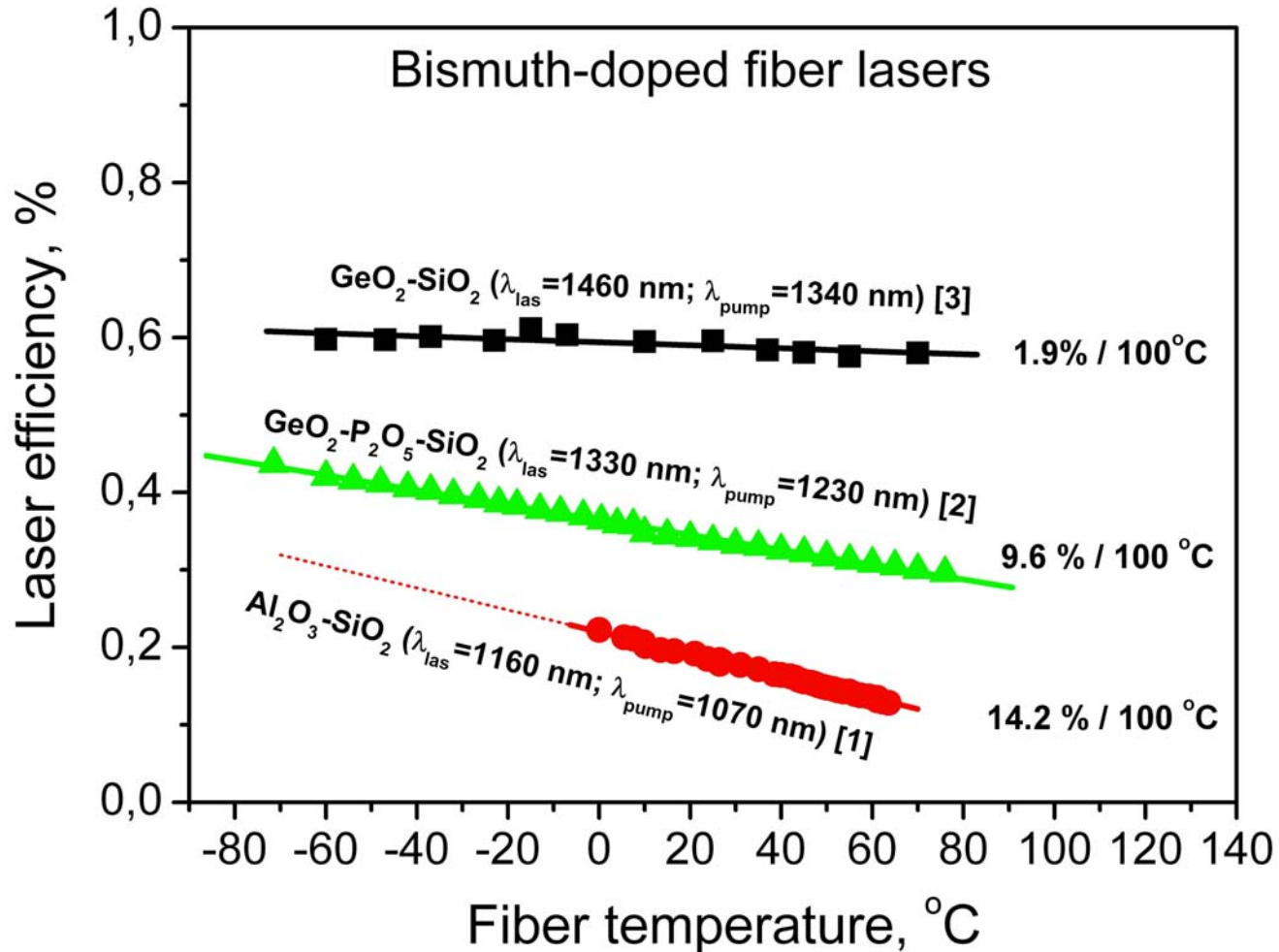
Схема висмутового волоконного лазера



20Вт висмутовый волоконный лазер на 1460 нм



Температурные зависимости КПД висмутовых лазеров

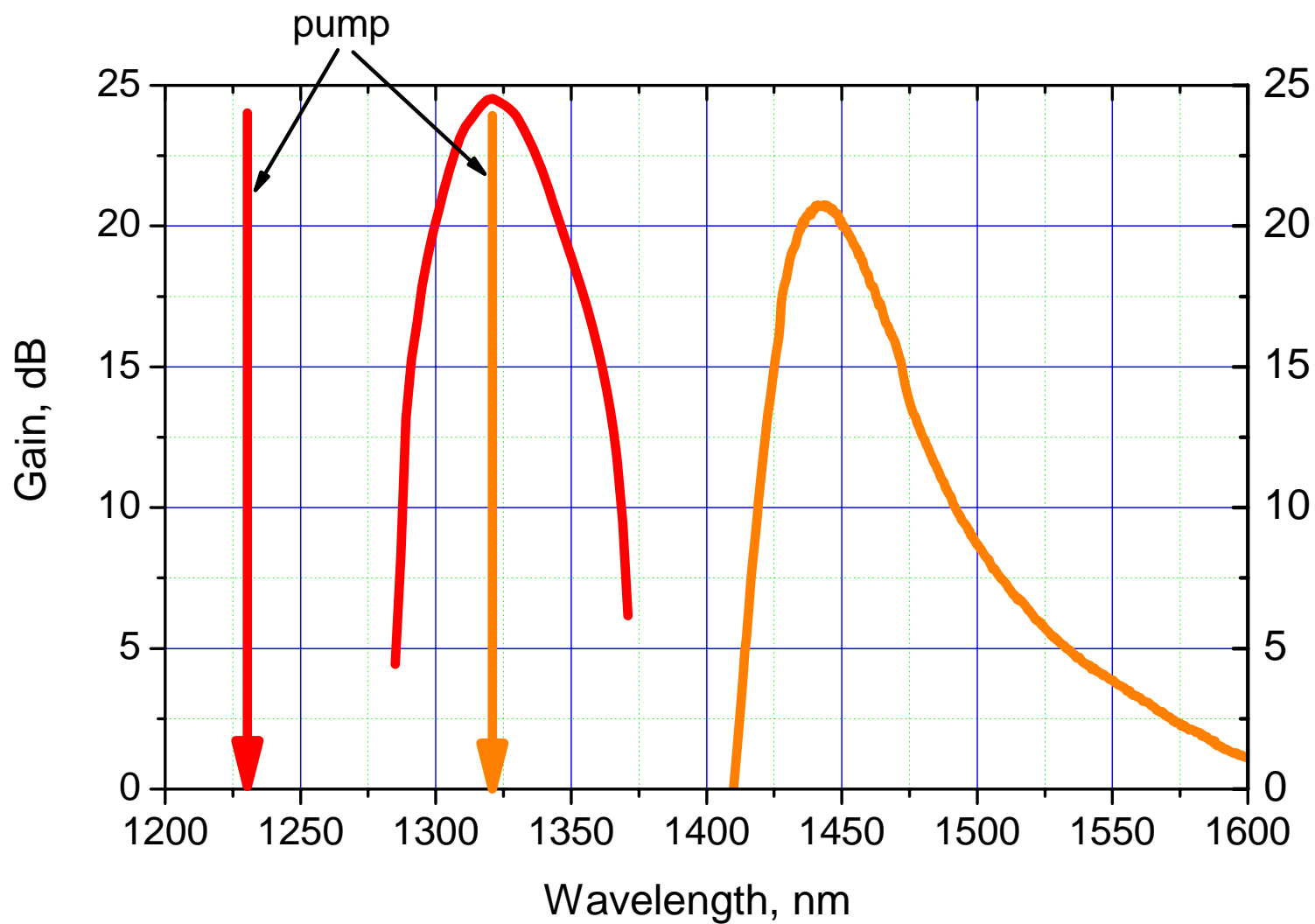


[1] E.M. Dianov et al., JOSA B, Vol. 24, Issue 8, pp. 1749-1755 (2007)

[2] I.A. Bufetov et al., Photonics West, Proceedings, Vol. 7580 (2010)

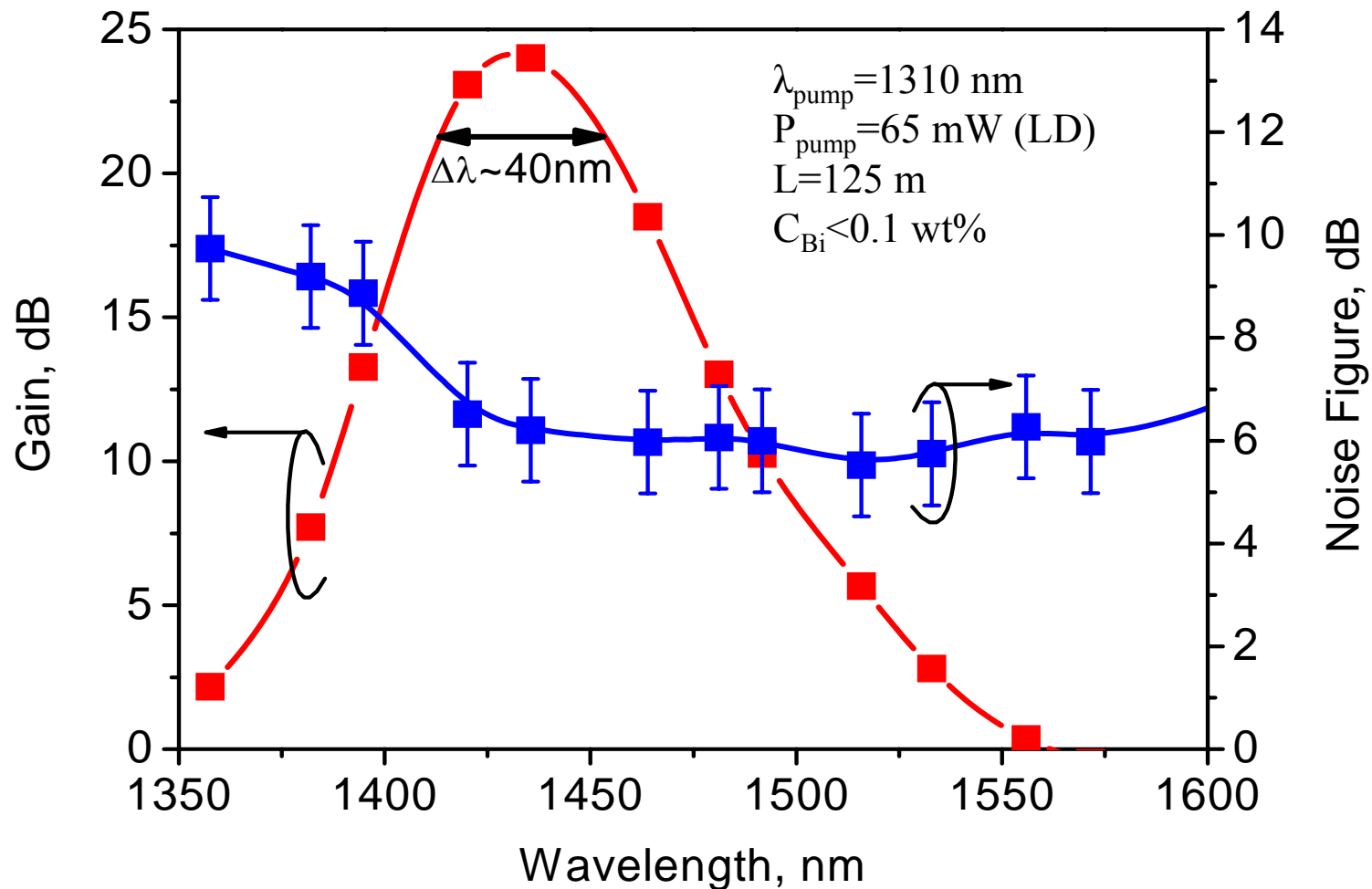
[3] E.M. Dianov et al., ECOC 2011

Волоконно-оптические висмутовые усилители



E.M. Dianov, et al., Proc. SPIE, Vol. 7580 (2010)

Оптическое усиление и сигнал/шум висмутового волоконного усилителя



M.A.Melkumov, E.M.Dianov, I.A.Bufetov et al., OFC'2011, OMH1 (invited)

Заключение

- ✓ Показано, что легированные висмутом волоконные световоды являются перспективным лазерным материалом для создания лазеров во всей спектральной области 1000 – 2000 нм.
- ✓ Создание висмутовых оптических волоконных усилителей для спектральной области 1300 – 1500 нм может стать важным шагом в решении проблемы создания волоконно-оптических систем связи и передачи информации со скоростью ~ 1 Петабит/с и выше.