

# OPTICAL INTERCONNECT DEVICES FOR EXA-SCALE COMPUTING

エクサスケールコンピューティングのための光インターコネクต์デバイス

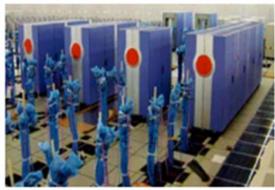
電気でなく、光である理由。

物理情報工学科  
石樽 崇明

## HPC Systemの変遷

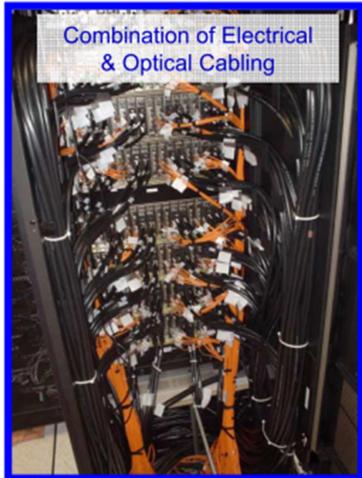
## Introduction

2002



NEC Earth Simulator

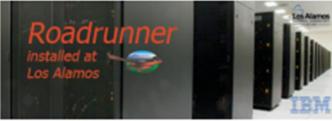
2005



Combination of Electrical & Optical Cabling

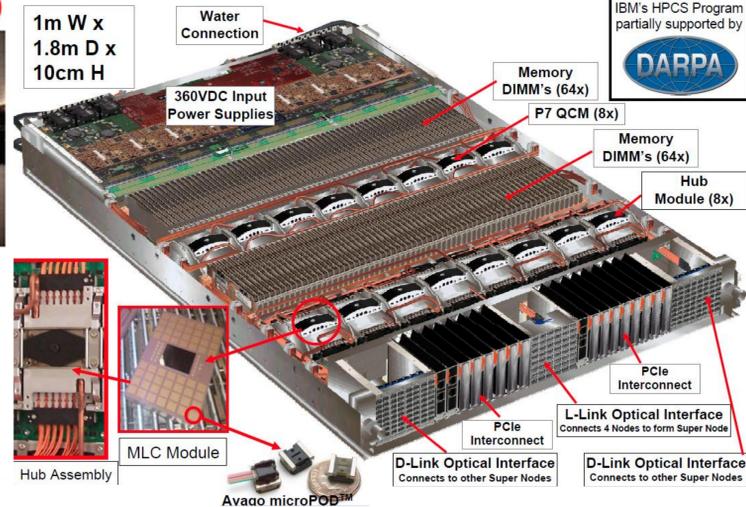
2008

IBM Roadrunner (LLNL) Cray Jaguar (ORNL)



Ref. A. Benner, OIDA Roadmapping Workshop, 2011, 4

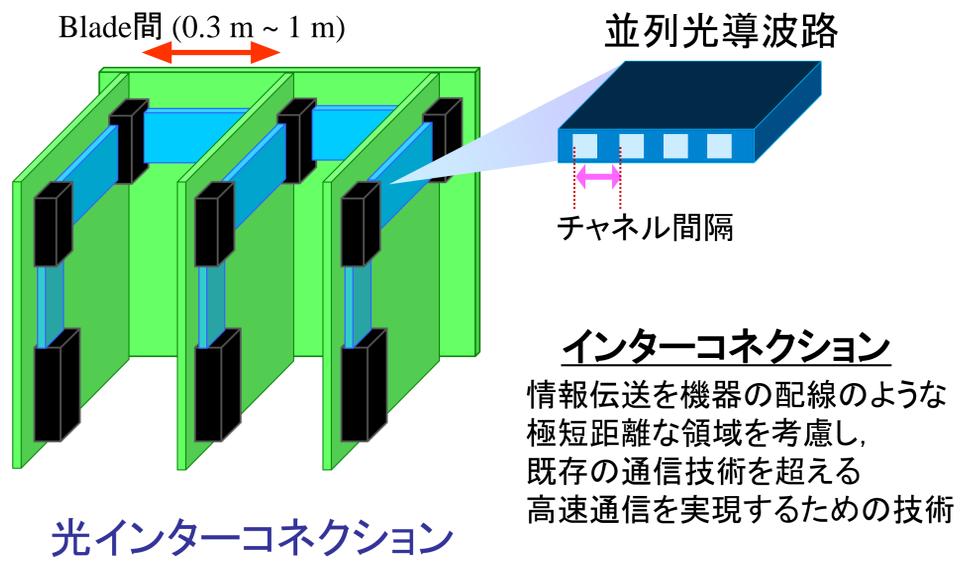
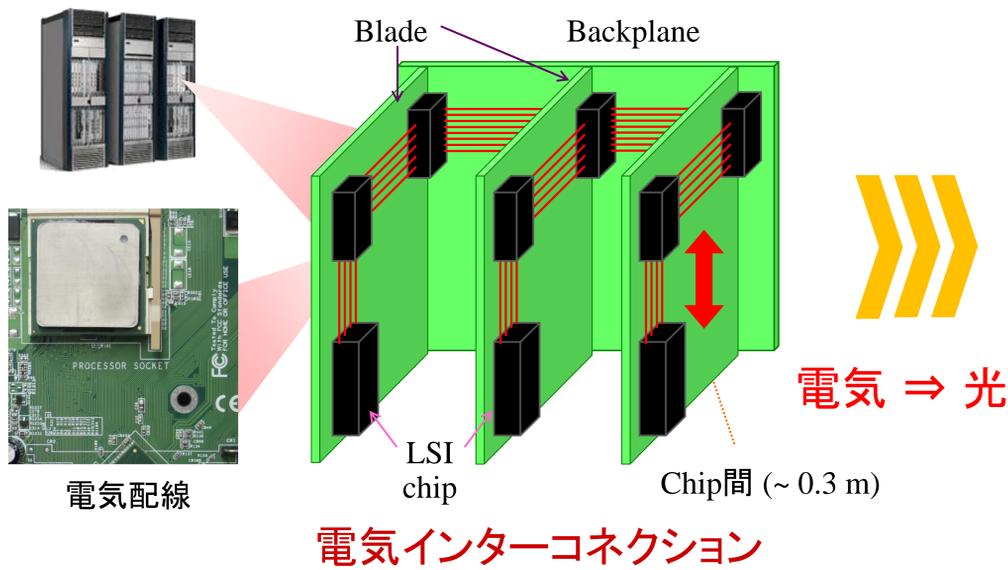
2013 ~ Power 775 System Hardware @ IBM



高速・低消費電力HPC Systemの実現には“光インターコネクション”が必要

## 電気から光の世界へ

## Interconnection

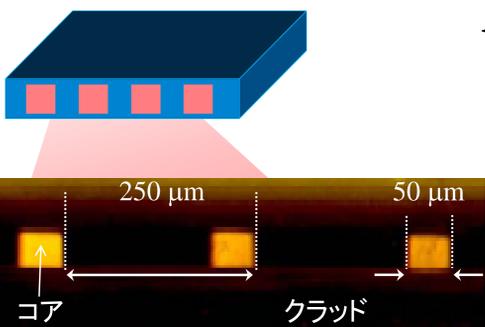


## ポリマー並列光導波路

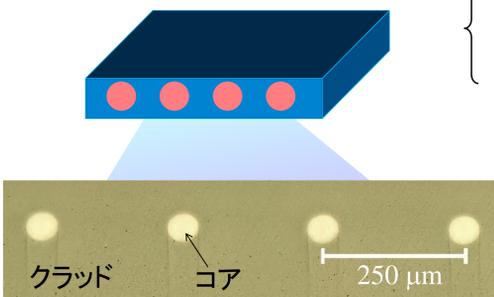
## Waveguide

従来 = “SI型・矩形コア” 並列光導波路

当研究室 = “GI型・円形コア” ポリマー並列光導波路



コア形状: 矩形  
屈折率分布: 階段状



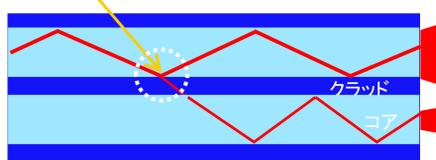
コア形状: 円形  
屈折率分布: 放物線状

懸念事項

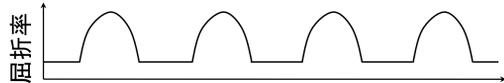
伝送損失の増大  
狭帯域  
クロストーク\*が大きい  
光ファイバとの低接続性

特長

伝送損失の低減  
広帯域  
クロストークが小さい  
光ファイバとの高接続性

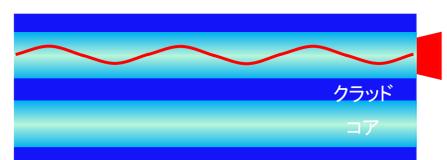


SI型のクロストーク概念図



GI型(放物線状)屈折率

多くの光がコア中心に集中するため、クロストークが起こりにくい



GI型のクロストーク概念図

\*クロストーク  
信号光から漏洩した光

# TOWARD EXA-SCALE COMPUTING

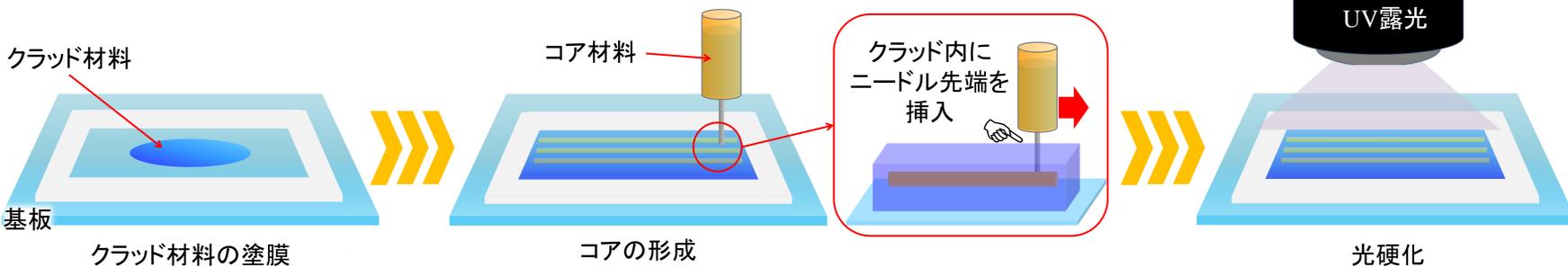
情報光学研究室が提案するテラビット光インターコネクションの世界

## ポリマー並列光導波路作製法

## Fabrication

### Mosquito Method

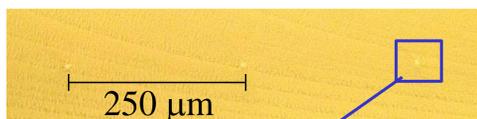
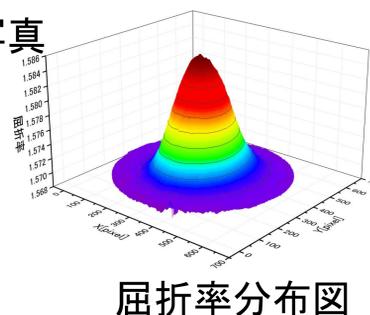
モスキート法



### 円形GI型コア: 基板の所望の位置に形成可能

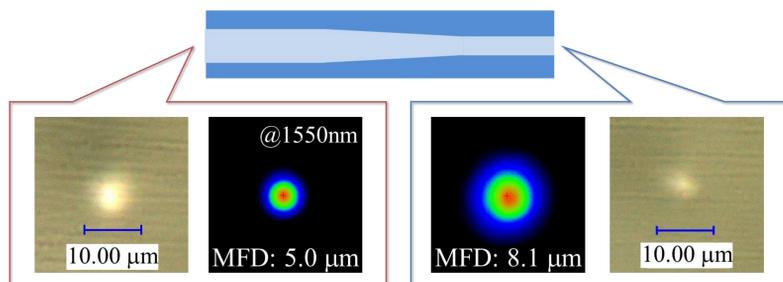


導波路断面写真



コア径3 μm程度へ制御可能

### テーパ構造(Spot Size Converter)

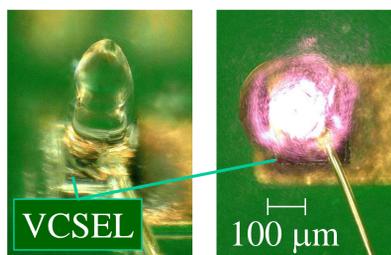


Si細線導波路・シングルモードファイバとの高接続性を実現可能

### 高密度・自由配線



多段導波路(断面写真)



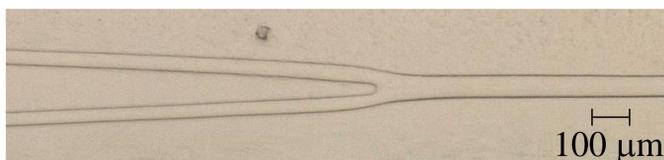
鉛直方向コア



PMTコネクタ一体型導波路



ピッチ変換導波路



Y分岐導波路

多チャネルの円形GI光導波路を自由な配線設計で作製可能

## 伝搬光解析

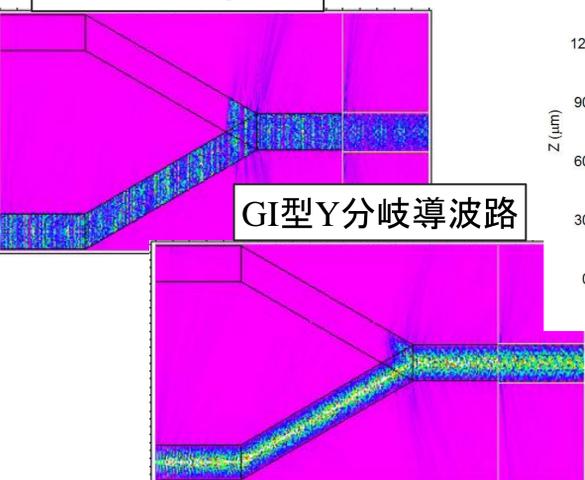
## Simulation

ビーム伝搬法 Beam Propagation Method

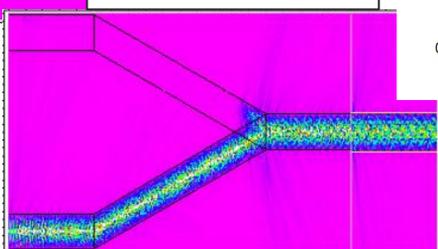
光線追跡法 Ray Trace

### Y分岐型導波路 合波解析

SI型Y分岐導波路



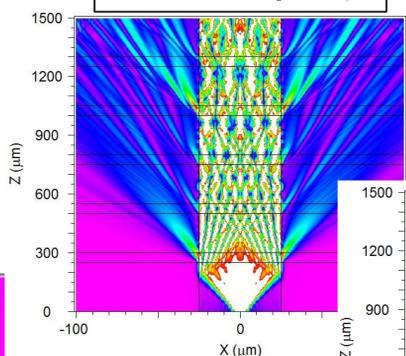
GI型Y分岐導波路



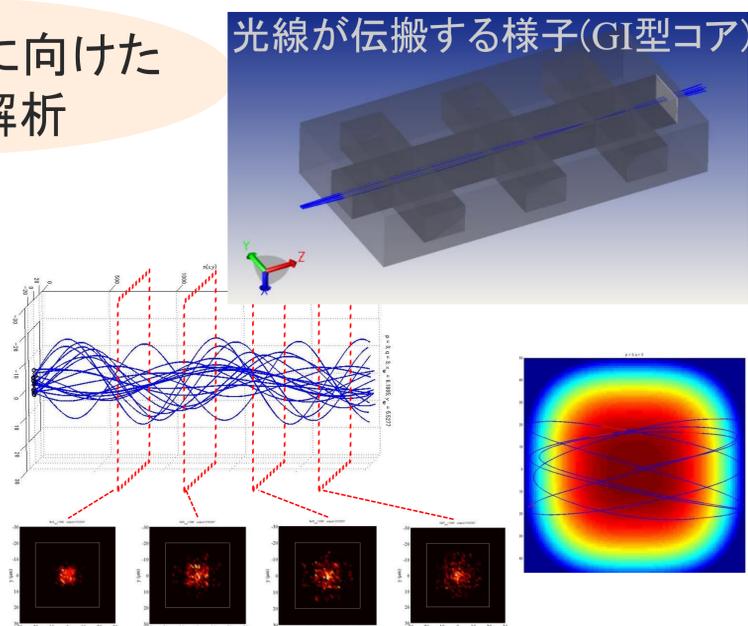
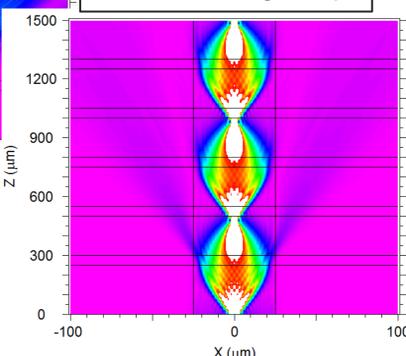
波動により様々な光学特性を解析

### 交差導波路に向けた導波路解析

SI型交差導波路



GI型交差導波路



光線により様々な光学特性を解析

# GI-CORE POLYMER PARALLEL OPTICAL WAVEGUIDE

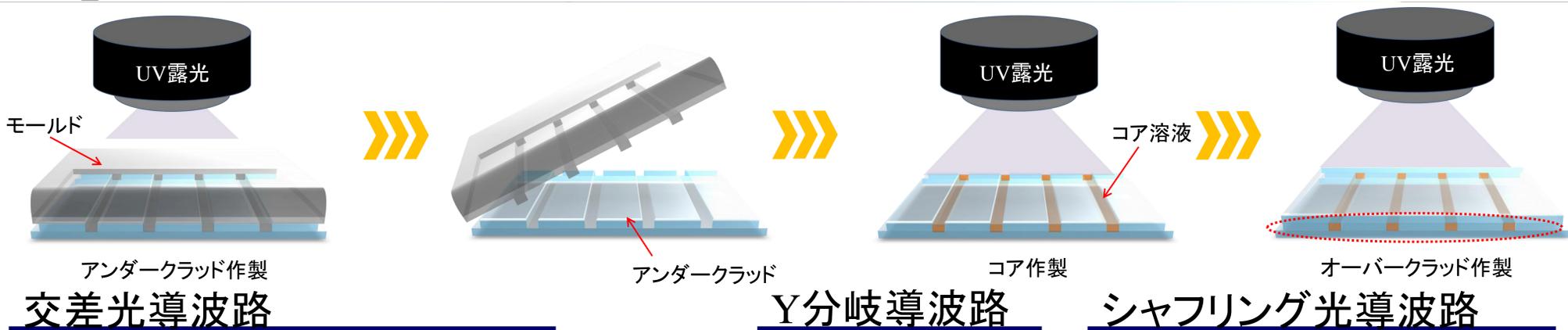
GI型ポリマー並列光導波路の作製・実装性能評価

ポリマー並列光導波路回路

Optical Circuit

## Imprint Method

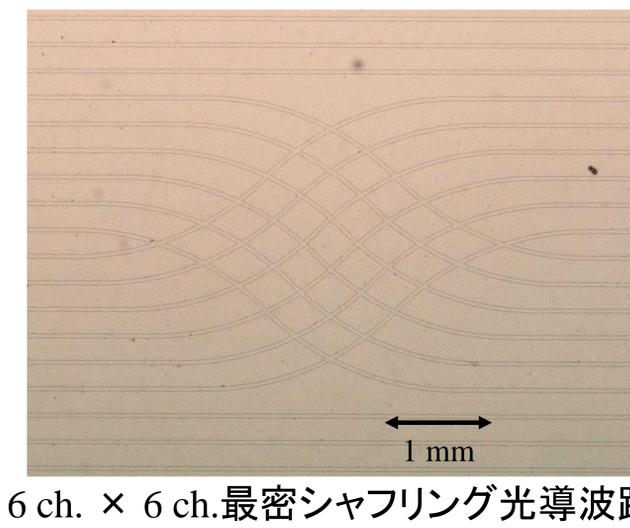
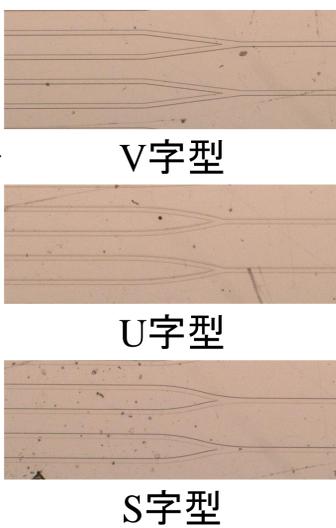
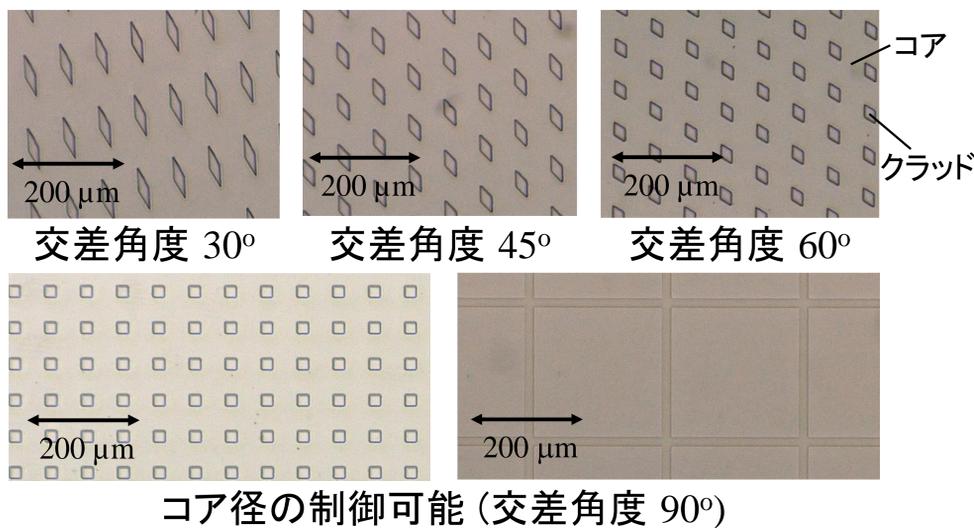
インプリント法



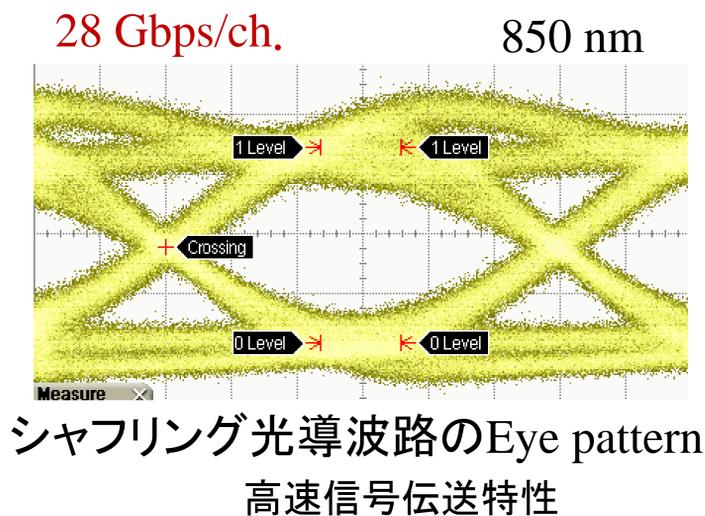
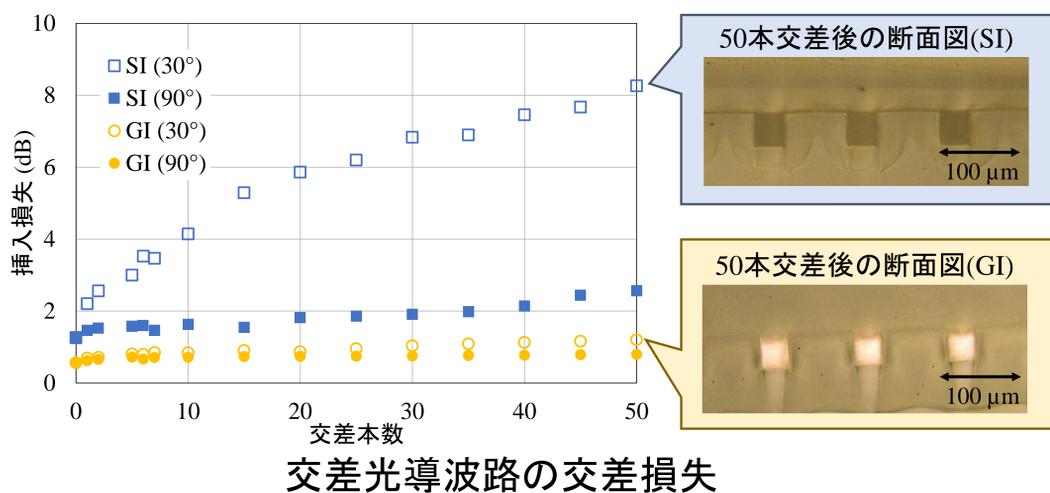
交差光導波路

Y分岐導波路

シャプリング光導波路



## 信号伝送特性



## 伝搬光解析

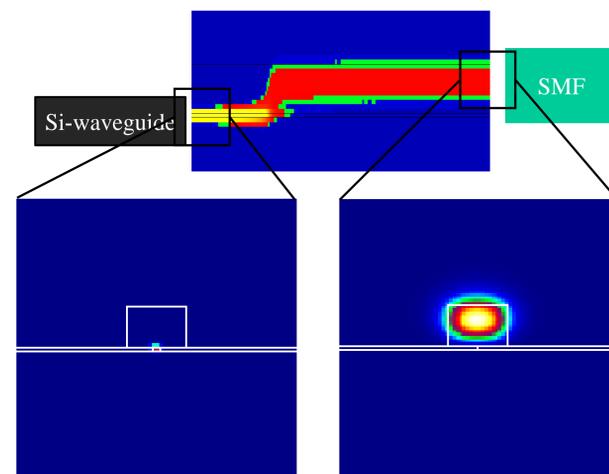
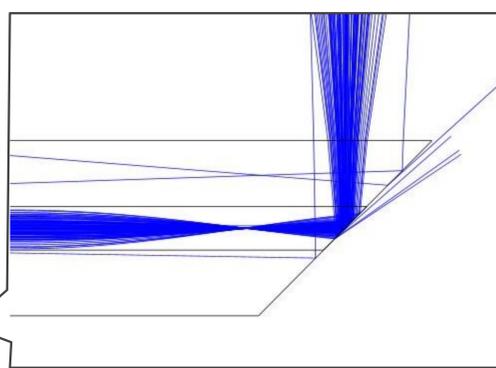
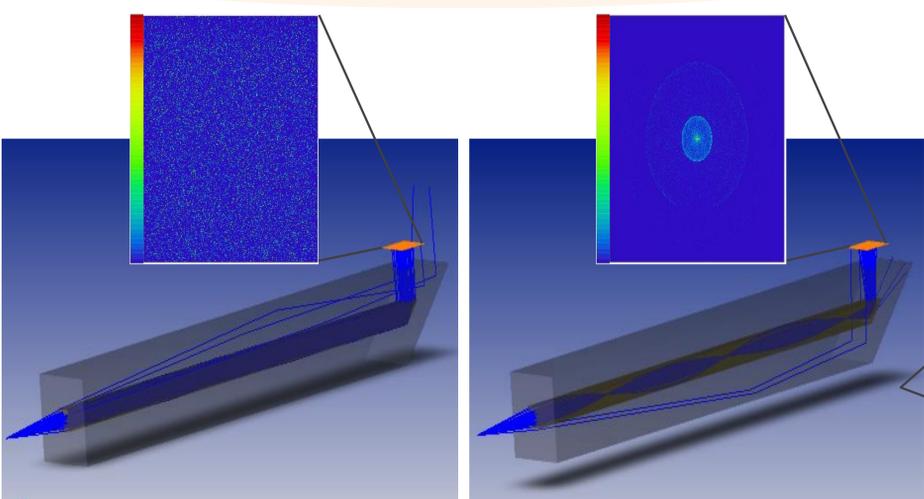
## Simulation

光線追跡法 Ray Trace

導波路モードソルバ FIMMWAVE

45°ミラーによる光路変換解析

光線が反射する様子 (GI型コア)



光線により45°ミラーを有する導波路の光学特性を解析

Si細線導波路-ポリマー導波路 SSC結合解析

# NEW PHOTONIC DEVICES

光を操る新しいフォトニックデバイス

Designed by Info-optics Lab.

## 希土類ドーピング光導波路

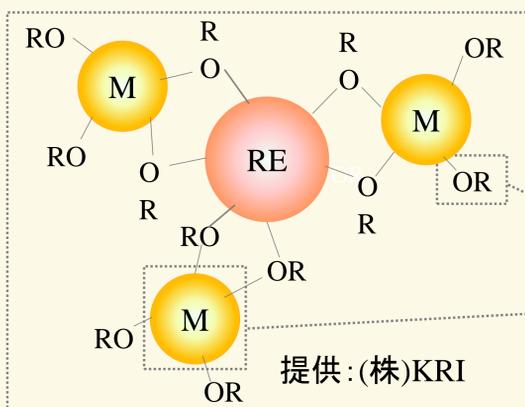
## Rare earth

希土類イオンの誘導放出により信号を増幅



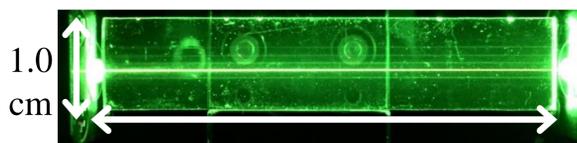
コア材料

希土類(RE)-金属(M)ナノクラスタ

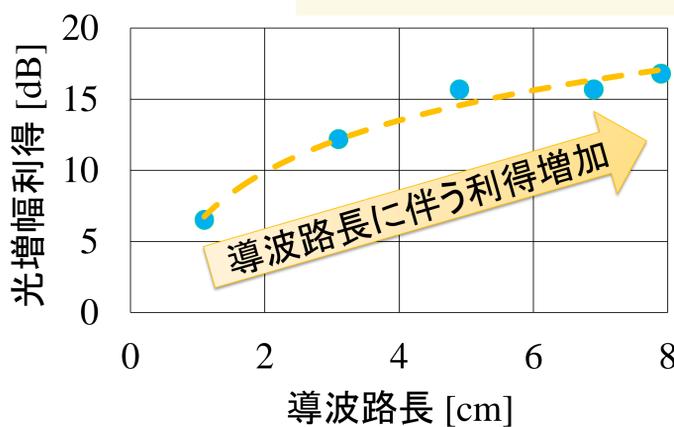


- 分子サイズ2~3 nm  
→イオン間距離を保ち  
高濃度添加可能
  - アルキル基配合  
→有機材料との親和性
  - 金属元素配合  
→マルチフォノン緩和抑制
- 提供:(株)KRI

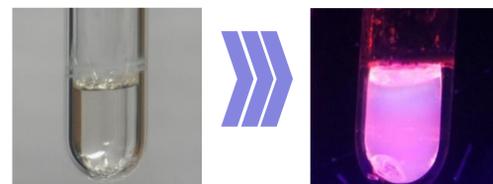
数cm長の導波路で  
光増幅を目指す



励起された導波路の上面写真



励起光照射による  
Eu-Alナノクラスタの蛍光発光

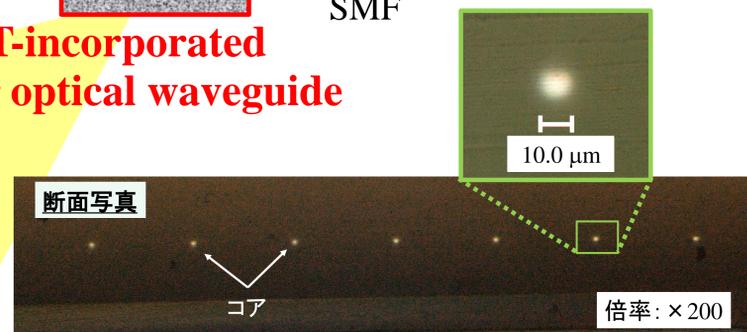
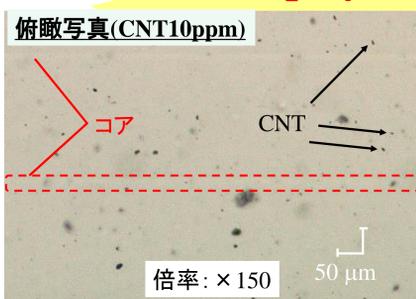
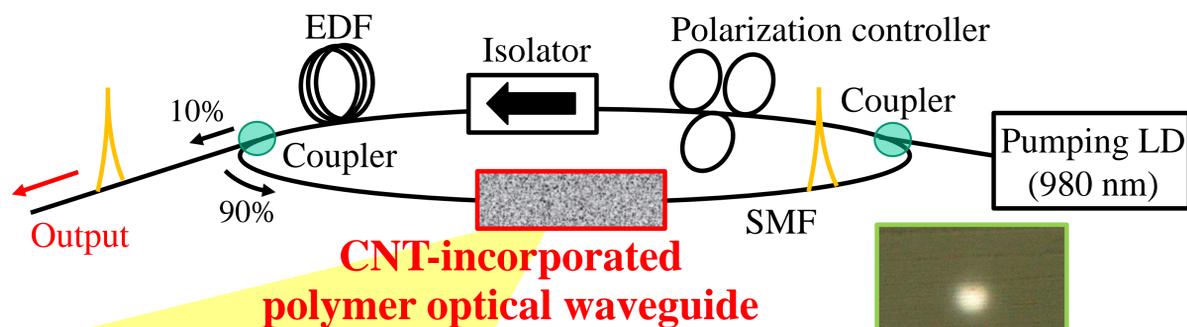
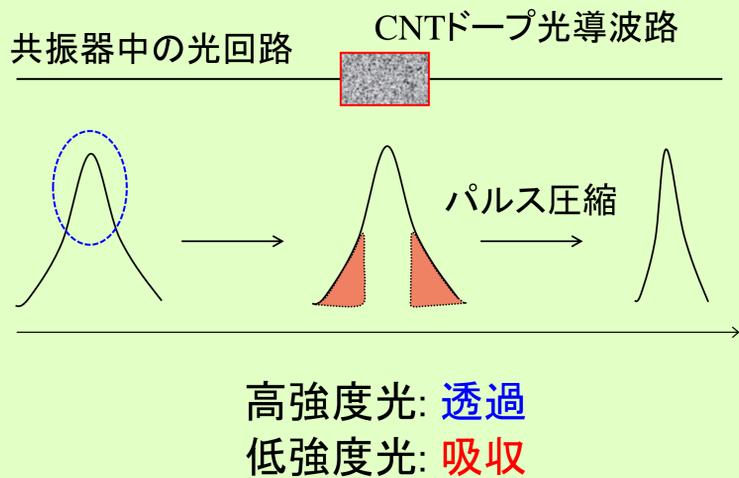
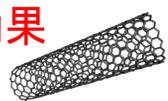


## 希土類ドーピング光導波路の光増幅器・レーザへの応用

## CNTドーピング光導波路

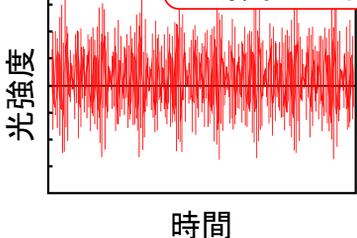
## Carbon nanotube

CNT特有の可飽和吸収効果  
によるパルス圧縮



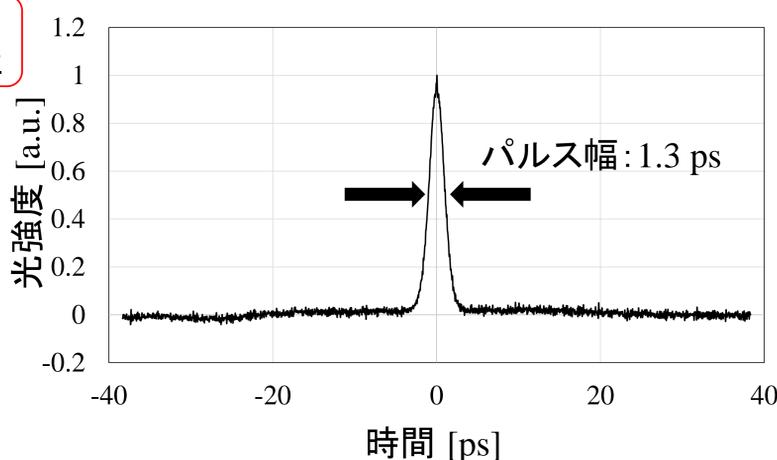
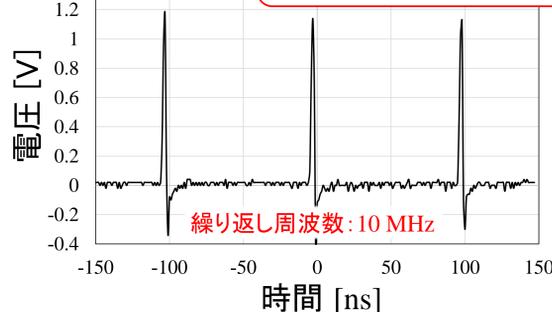
当研究室が開発した  
カーボンナノチューブ(CNT)を  
ポリマー中に分散させる技術

モード同期され  
時間的に不規則な挙動



可飽和  
吸収効果

モード同期され  
パルス列が一定間隔に



<モード同期>

レーザの各モードの位相を揃えると  
光が共振器を往復する時間間隔で短パルスが放出される現象

## CNTドーピング光導波路が受動モード同期素子として有用であると実証