
希土類元素添加Ⅲ－Ⅴ族半導体を基盤とした 光情報通信ネットワーク用波長超安定新規半導体レーザ の開発に関する研究

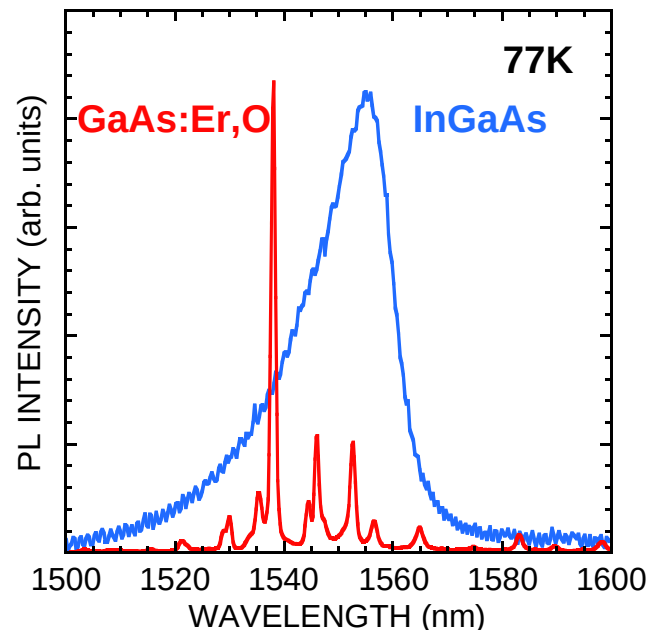
研究代表者

竹田 美和 名古屋大学大学院工学研究科

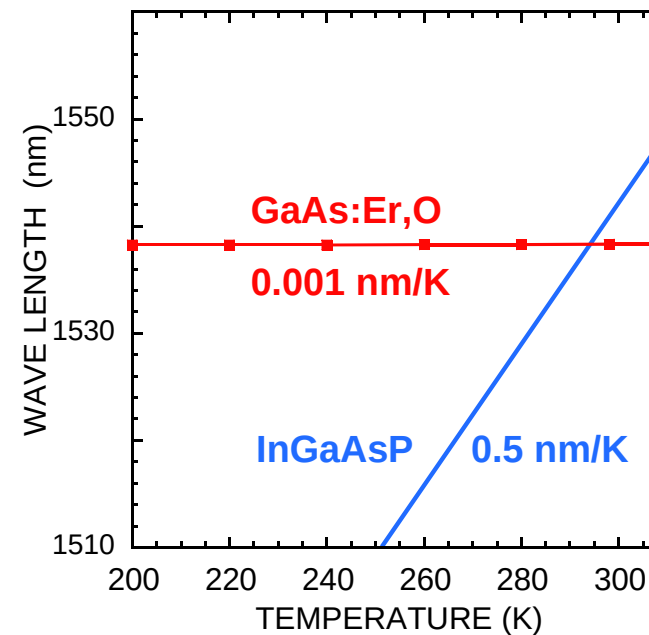
研究分担者

田渕 雅夫、宇治原 徹、渕 真悟
名古屋大学大学院工学研究科

希土類元素と半導体バンド端発光の比較



Erは、石英系光ファイバの最低伝送損失域である1.5 μm 帯で鋭く発光。

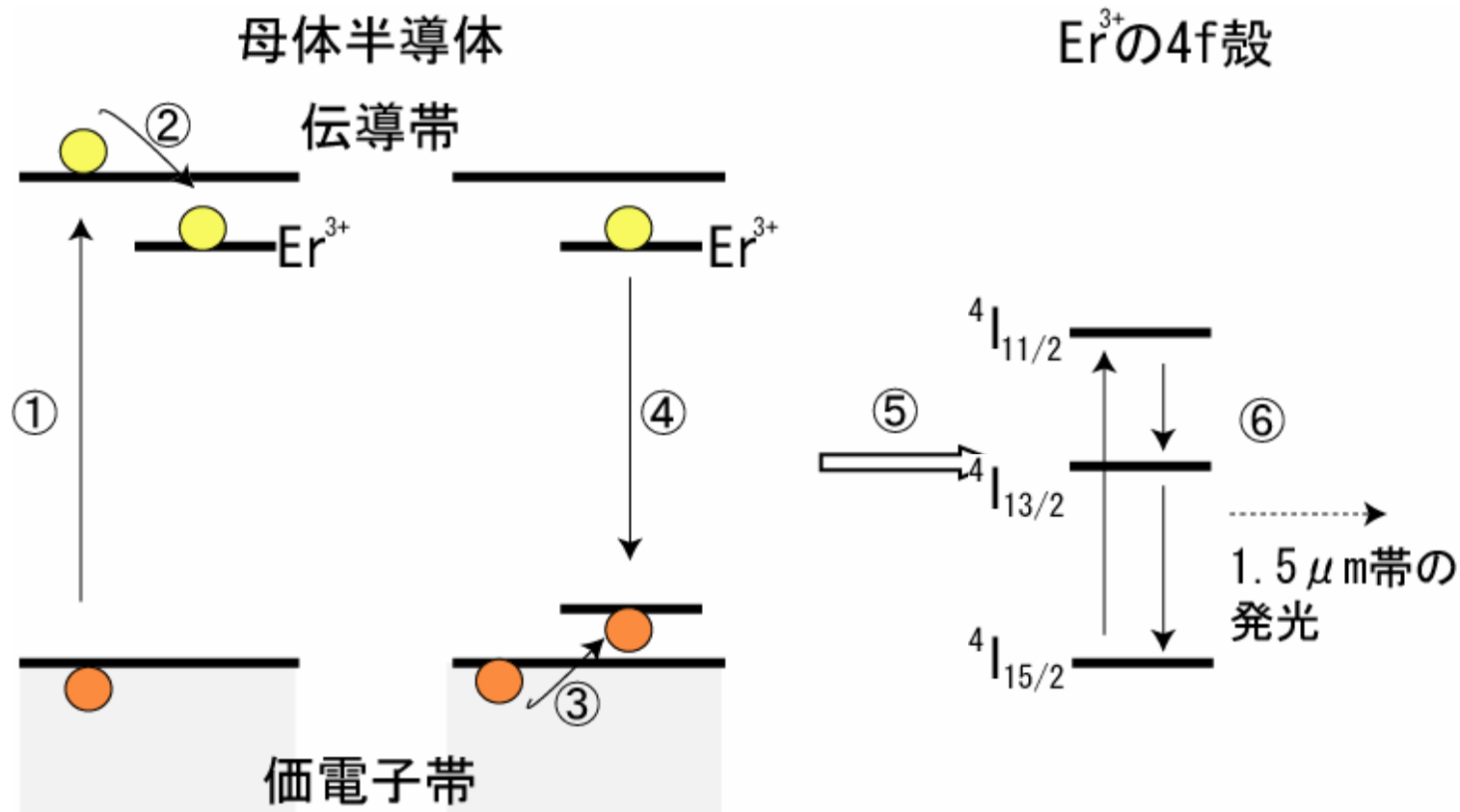


Erの発光は、発光波長の温度依存性が極めて小さい。

温度制御の必要のない光通信用基準光源にErの発光を応用

InGaAsで必要なペルチェ素子が不要となれば
消費電力の軽減、小型化、コストダウン、多様な環境で使用可能

Erの発光機構



①母体電子の励起

②Er不純物準位への電子のトラップ

③励起子の形成

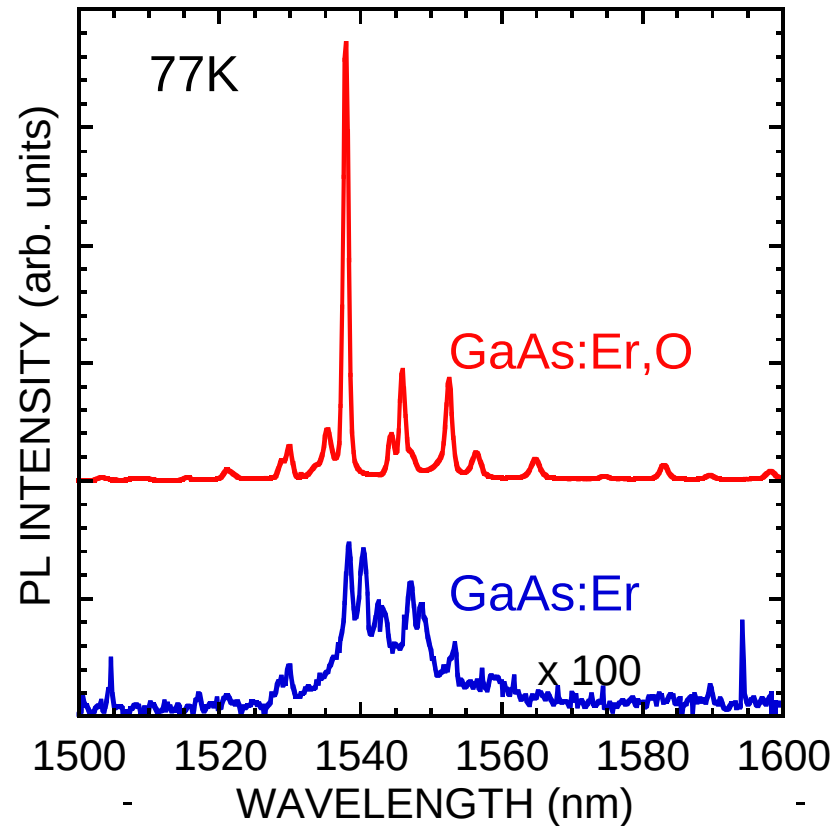
④励起子の再結合

⑤4f殻へのエネルギーの伝達 ⑥4f電子の励起→発光遷移

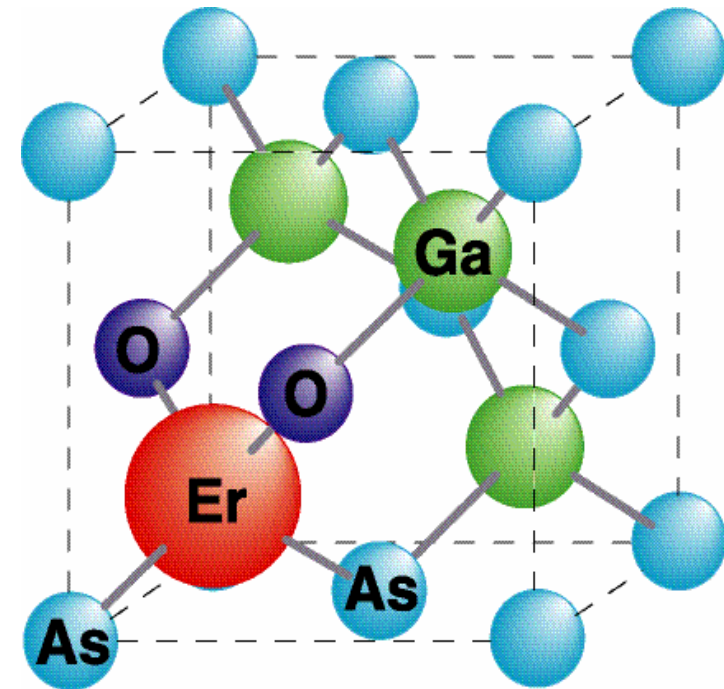
Erの4f殻内遷移により、温度に対して波長超安定な発光

ErとO(酸素)の共添加

高純度Er原料($(\text{EtCp})_3\text{Er}$)を合成して添加



不純物元素をEXAFS法で解析



GaAsにErとOを共添加することで、
発光しやすい局所構造であるEr-2O構造の選択的形成が可能。

発光強度が2桁以上増大

本研究開発の目的と手段

目的

高い発光効率を示すEr-2O発光中心を
GaAs中に選択的に作り込んだGaAs:Er,Oを活性層に用いて
半導体レーザを開発

研究開発内容

GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH構造の発光特性の評価

効率良くErを発光させ、かつ、光を閉じ込める構造の探索をおこなう。

GaAs:Er,O層の光利得の評価

レーザ発振には光利得を有することが必須。

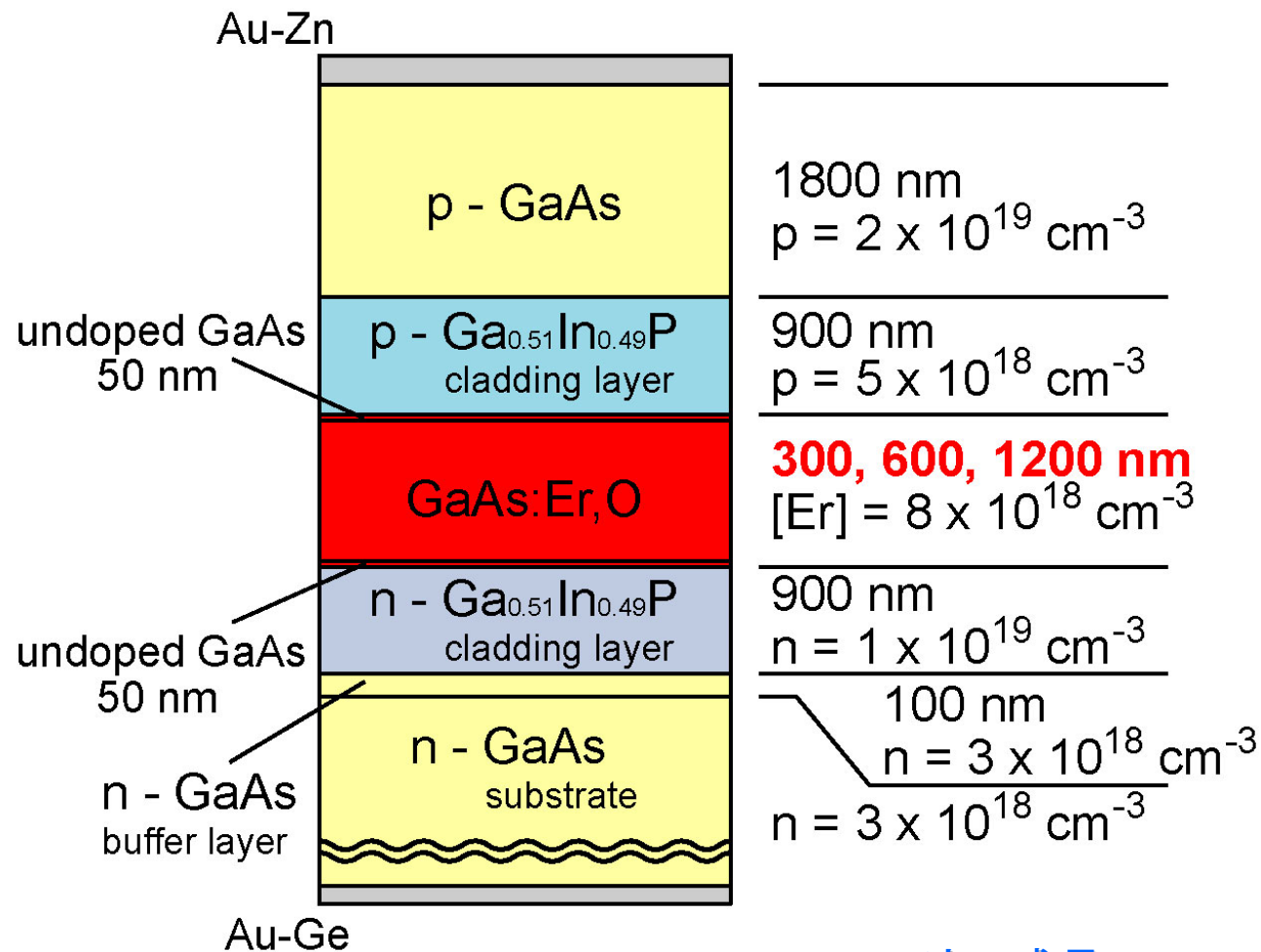
GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH構造の発光特性の評価

GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH構造の有効性の確認

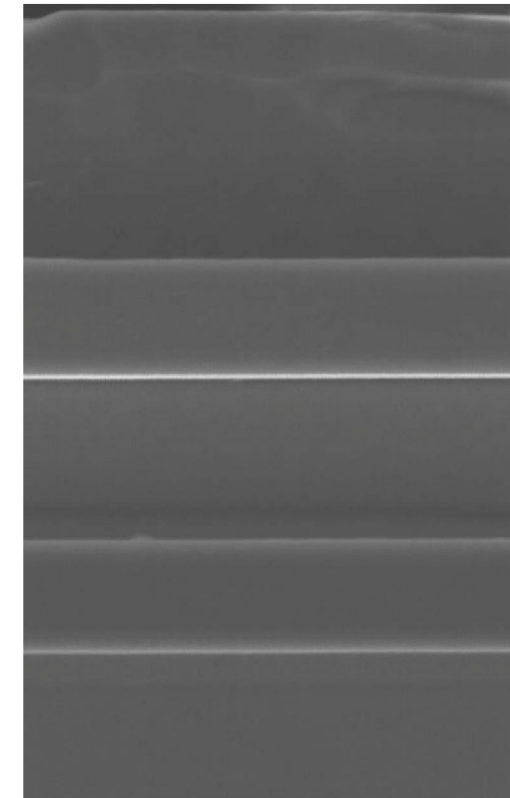
Erの有効励起断面積の測定

分離閉じ込め構造の採用

GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH試料構造



MOVPE法で成長

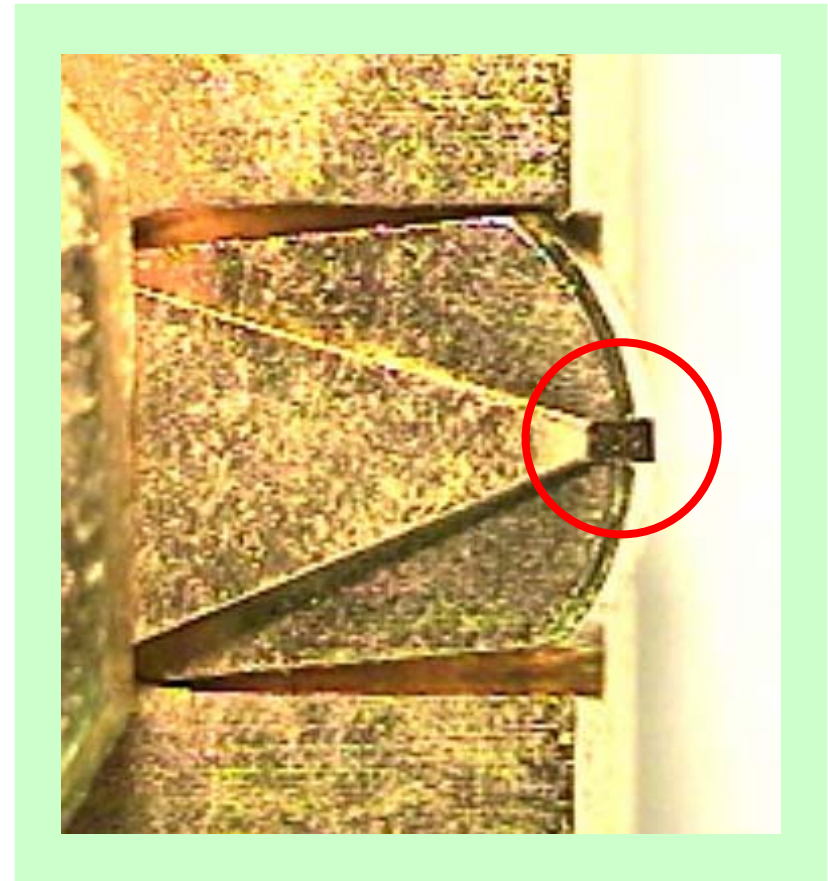
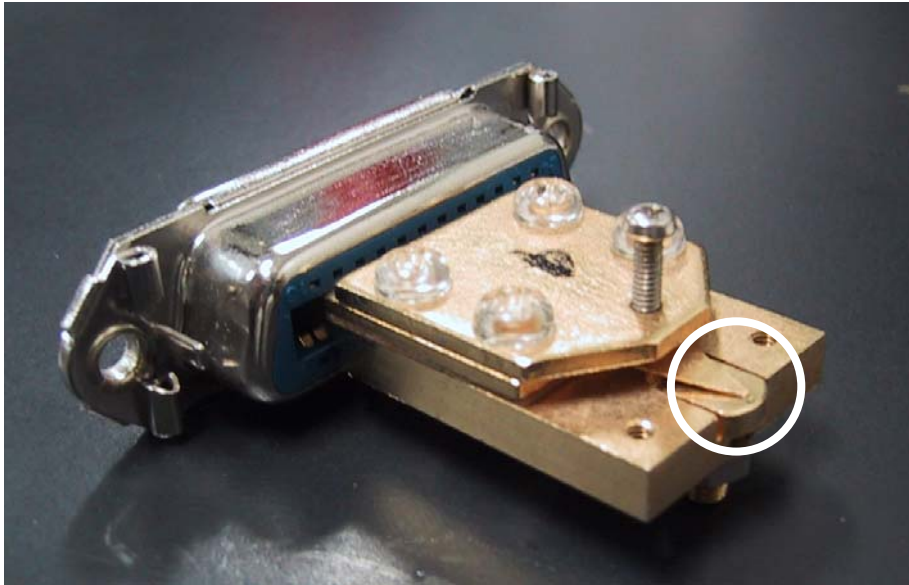


SEM像
(活性層厚1200 nm)

GaAs:Er,O活性層をGaInPで挟むこんな一般的なDH構造

GaAs:Er,O活性層中にキャリアと光を閉じ込める構造

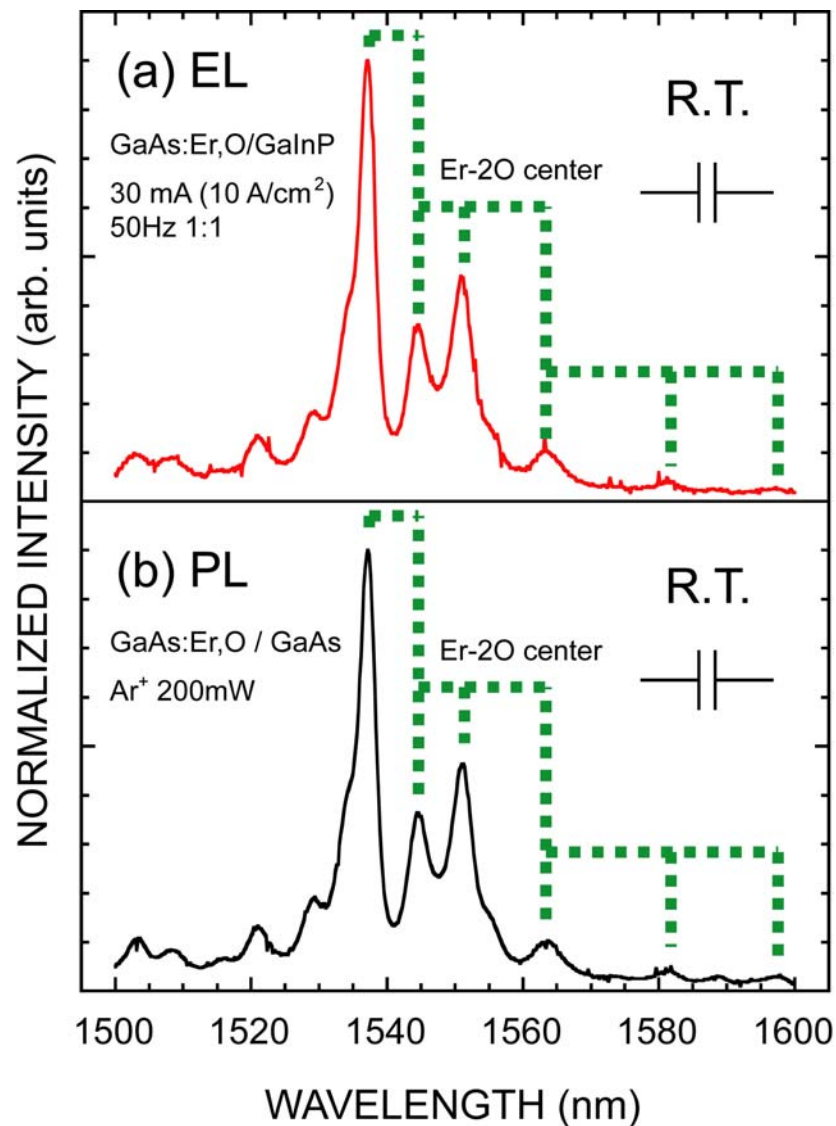
電流注入デバイス試料



DH構造を有する試料を1 mm × 1 mm程度の大きさに劈開
上下から挟み込み、試料端面からの発光を観察

電流注入試料からの発光スペクトル

ELスペクトルとPLスペクトルの比較

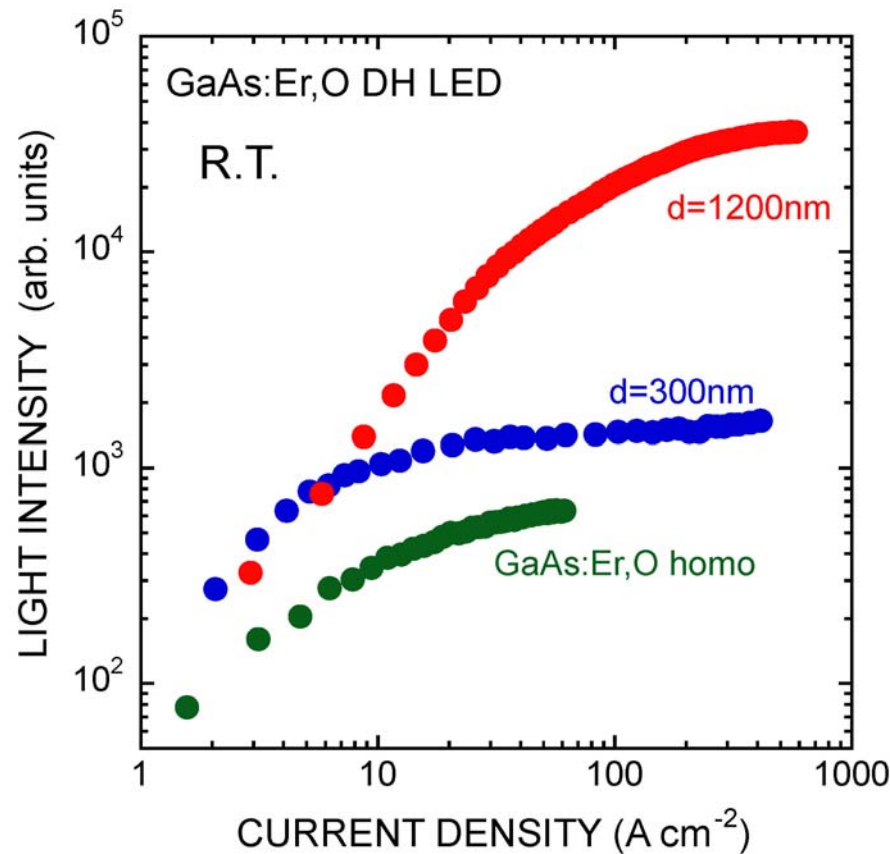


- ・ 同じ波長にピークを持つ。
- ・ 発光線どうしの相対強度比が等しい。



同じ発光中心 (Er-2O)による発光

GaAs:Er,O活性層厚さに対する発光強度の変化



- ・ DH構造とすることにより、ホモ接合試料と比べて発光強度が増大する。
- ・ 活性層厚さ1200 nmの場合、300 nmの場合と比べて発光強度は20倍増加する。
- ・ 活性層厚さ1200 nmの場合、300 nmの場合と比べて単純には8倍の増加と予測される。(光閉じ込め係数2倍、Erの数4倍)

DH構造では、光閉じ込め係数やErの数の他に、
光増幅等の発光強度増大要因が存在

Erの有効励起断面積の測定

$$\frac{dN_{Er}^*(t)}{dt} = \sigma_c \frac{J}{q} (N_{Er} - N_{Er}^*(t)) - \frac{N_{Er}^*(t)}{\tau}$$

where:

G. Franzò, S. Coffa, F. Priolo, and C. Spinella, J. Appl. Phys. **81**, 2784 (1997) .

- σ – Er excitation cross-section,
- J – current density,
- q – electron charge,
- τ – lifetime of Er ion in the excited state,
- N_{Er} – total concentration of Er ions,
- N_{Er}^* – concentration of the excited Er ions.

発光強度の電流密度依存性

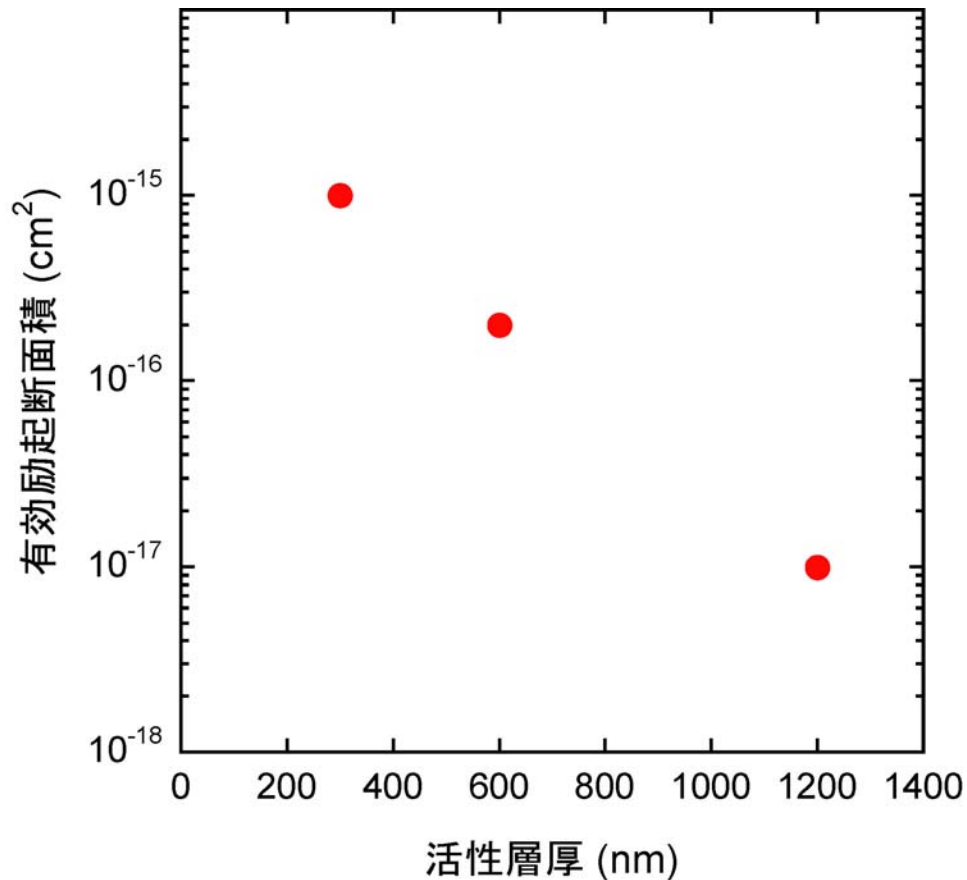
$$I_{EL} \propto \frac{\frac{\sigma_c \tau}{q} J}{\frac{\sigma_c \tau}{q} J + 1} N_{Er}$$

発光の時間応答

$$\frac{1}{\tau_{on}} = \sigma_c \frac{J}{q} + \frac{1}{\tau_{off}}$$

発光強度(電流密度依存性)と発光の時間応答から σ と τ を測定

Erの有効励起断面積の活性層厚依存性



- Er添加ファイバ増幅器では、 $10^{-21} \sim 10^{-22} \text{ cm}^2$ 程度。

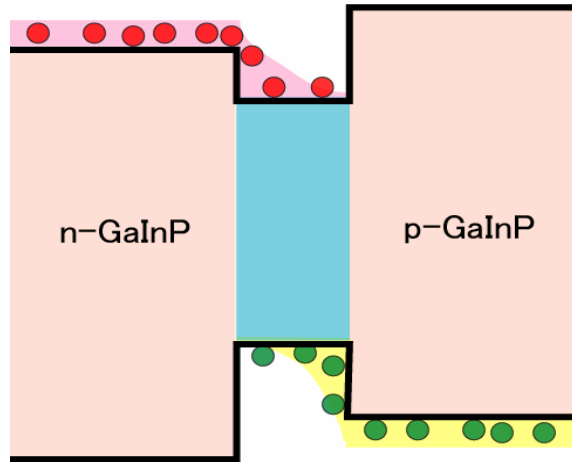
- 本来、励起断面積は活性層厚に対して変化しない。

- Er添加GaAs層ではキャリアの拡散長が100 nm～200 nm程度(EBIC測定より)。

光励起による SiO_2 中のErと比較して5～6桁大きい
活性層内での電子と正孔が出会う確率が減少している可能性あり

活性層厚の設定における課題

活性層厚とキャリアの拡散長の関係



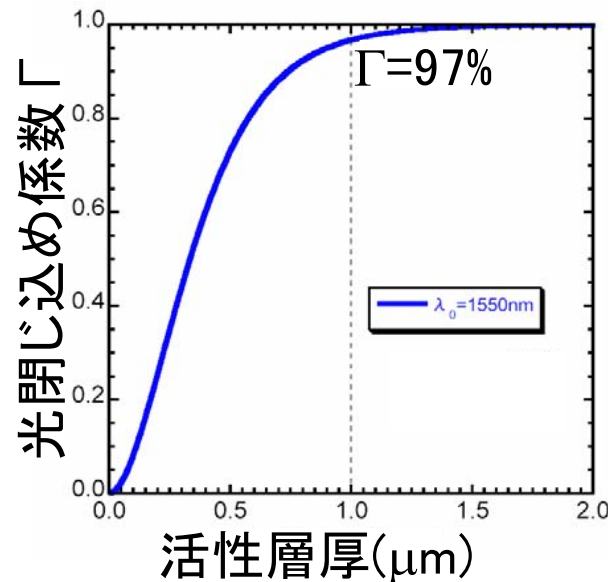
活性層が薄い場合、キャリアの拡散長が短い場合でも電子と正孔が空間的に近接し、キャリアが再結合することが可能。



如何に両立させるか

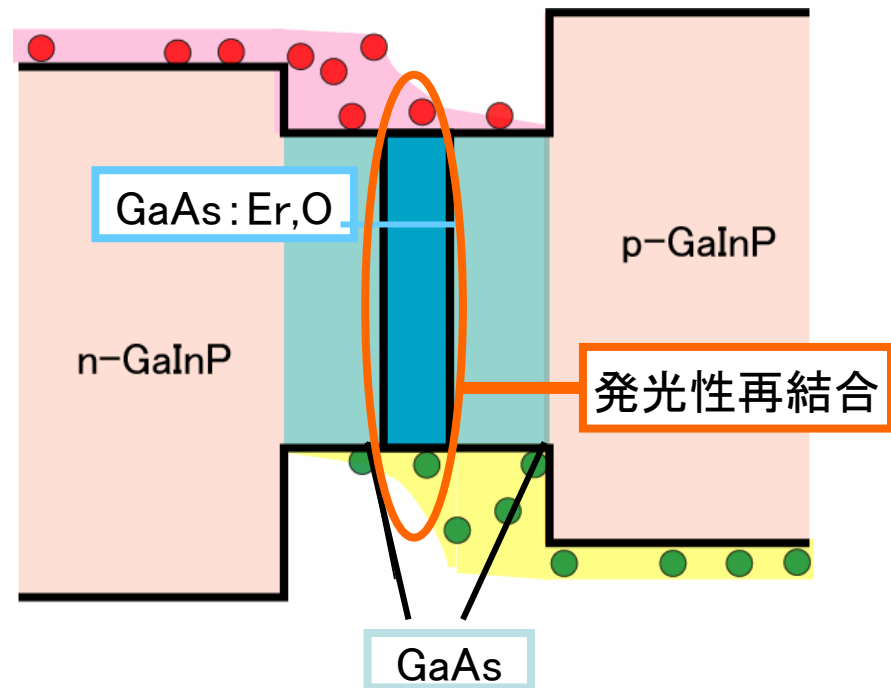


活性層厚と光閉じ込め係数の関係

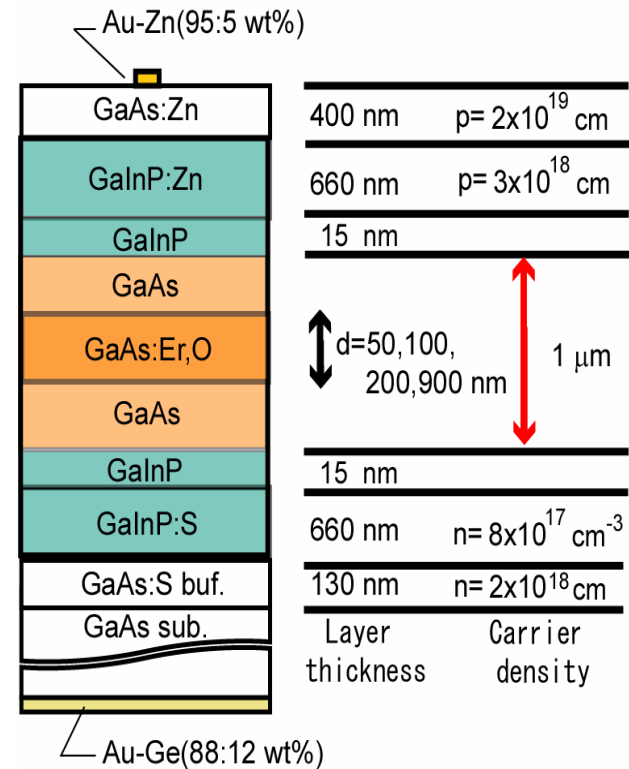


活性層を厚くしないと、光を効率的に閉じ込めることができない。

分離閉じ込め構造の採用



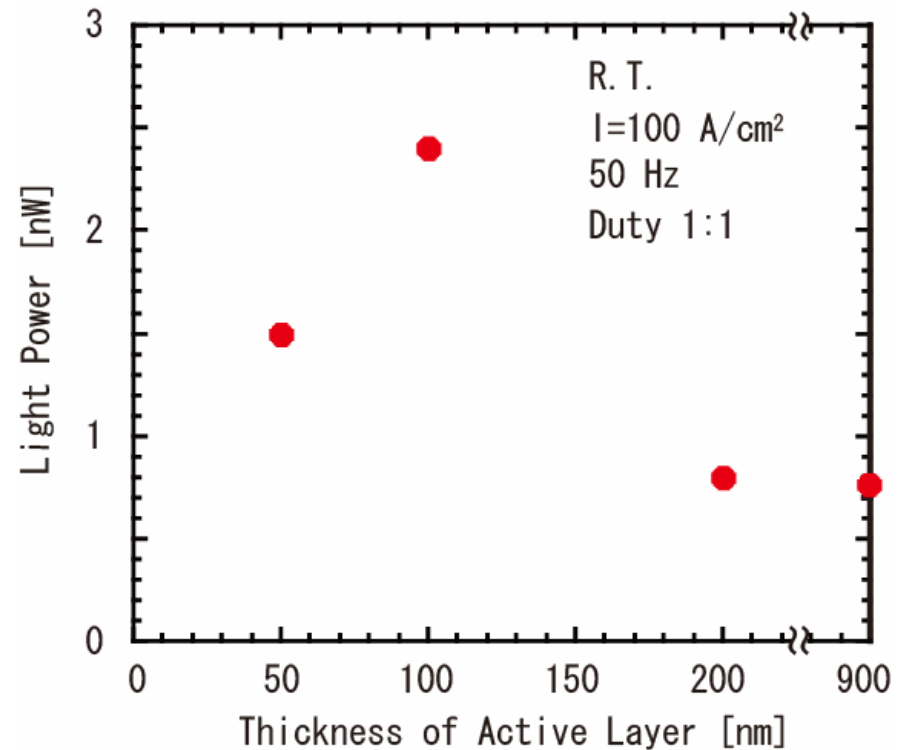
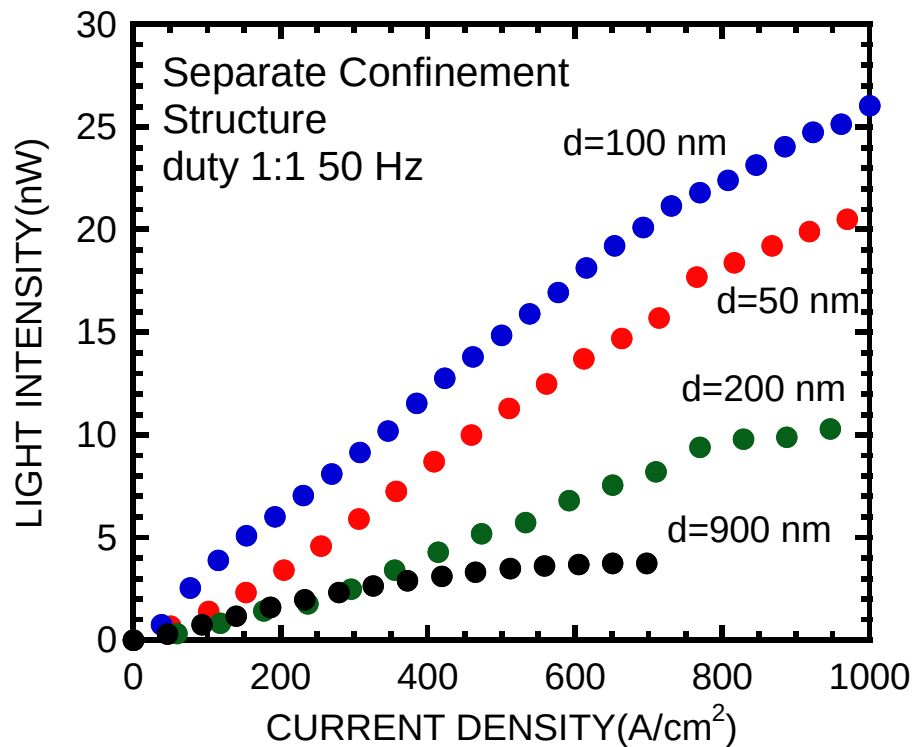
分離閉じ込め構造



GaAsEr,O+GaAsの層厚を1 μm に固定し、GaAs:Er,O層厚を変化させる。

GaAs:Er,O層で発光させ、GaAs:Er,O層+GaAs層で光を閉じ込める
分離閉じ込め構造を採用

分離閉じ込め構造の効果

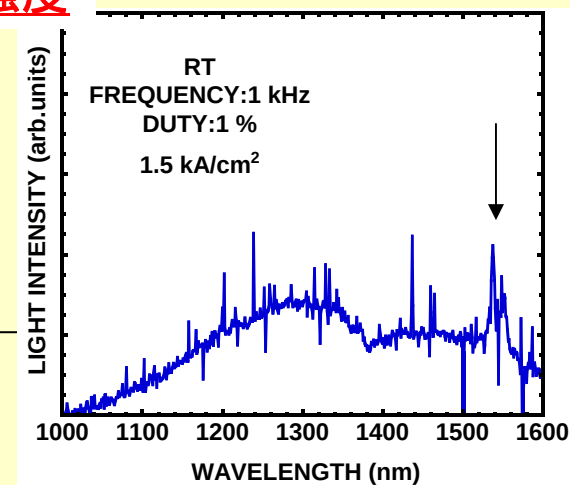
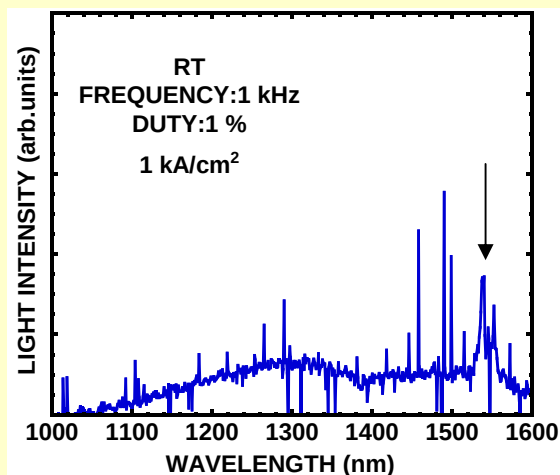
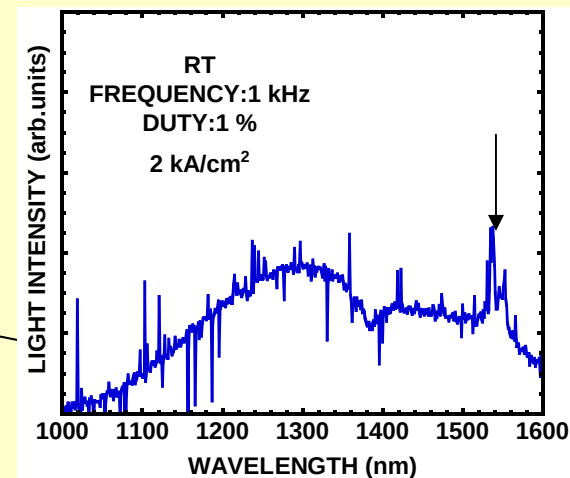
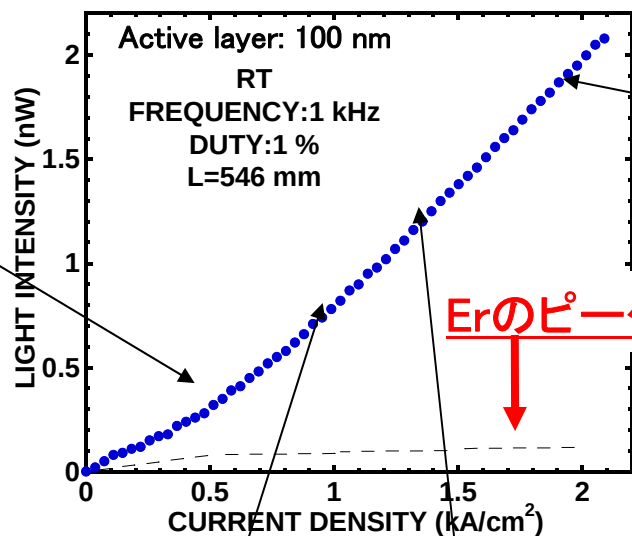
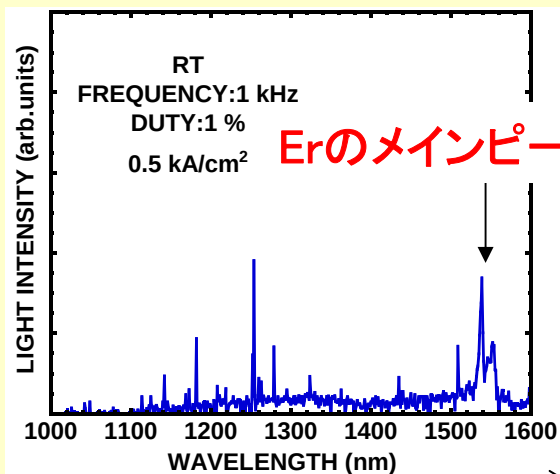


活性層厚100 nm以上：活性層を薄くすると、効率的なキャリアの再結合が起こり、発光強度が増大する。

活性層厚100 nm未満：活性層を通過するキャリアが現れ、発光強度が減少する。

分離閉じ込め構造は、発光強度増大に効果的

電流注入による光出力・発光スペクトルの変化



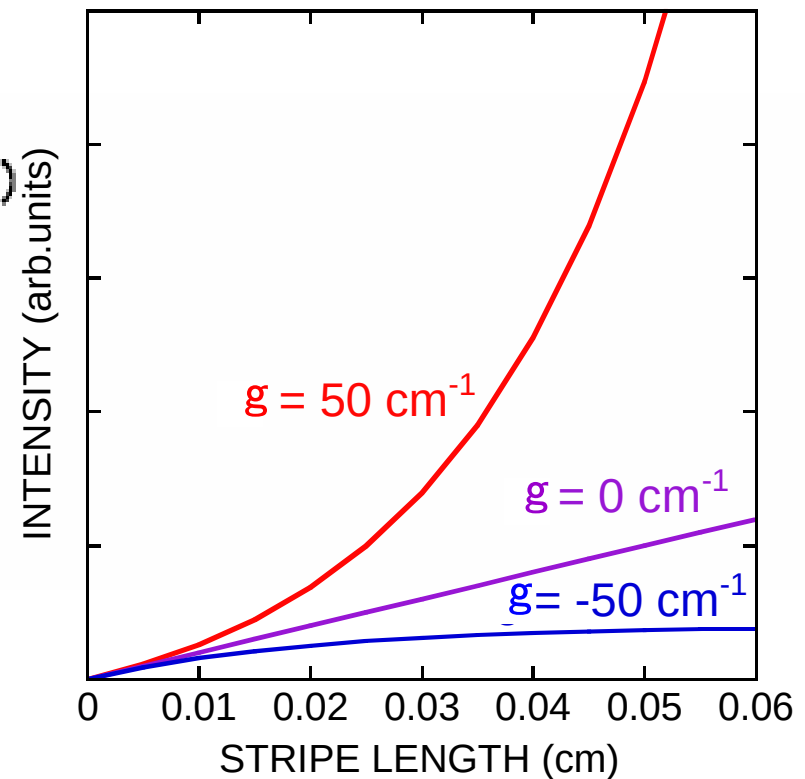
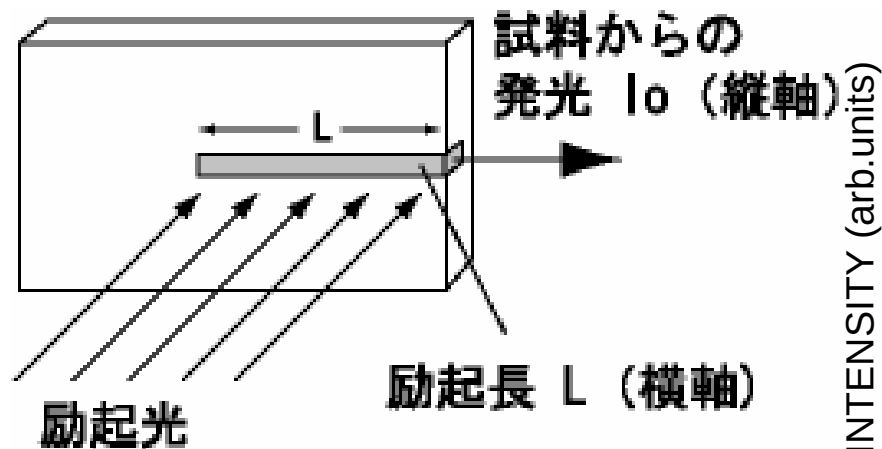
ブロードな発光(ドーパントのS(硫黄)か?)の抑制が必要

GaAs:Er,O層の光利得の測定

光VSL法による室温での利得測定

発光強度の励起光強度依存性

VSL (Variable Stripe Length) 法の原理



発光強度の励起長依存性

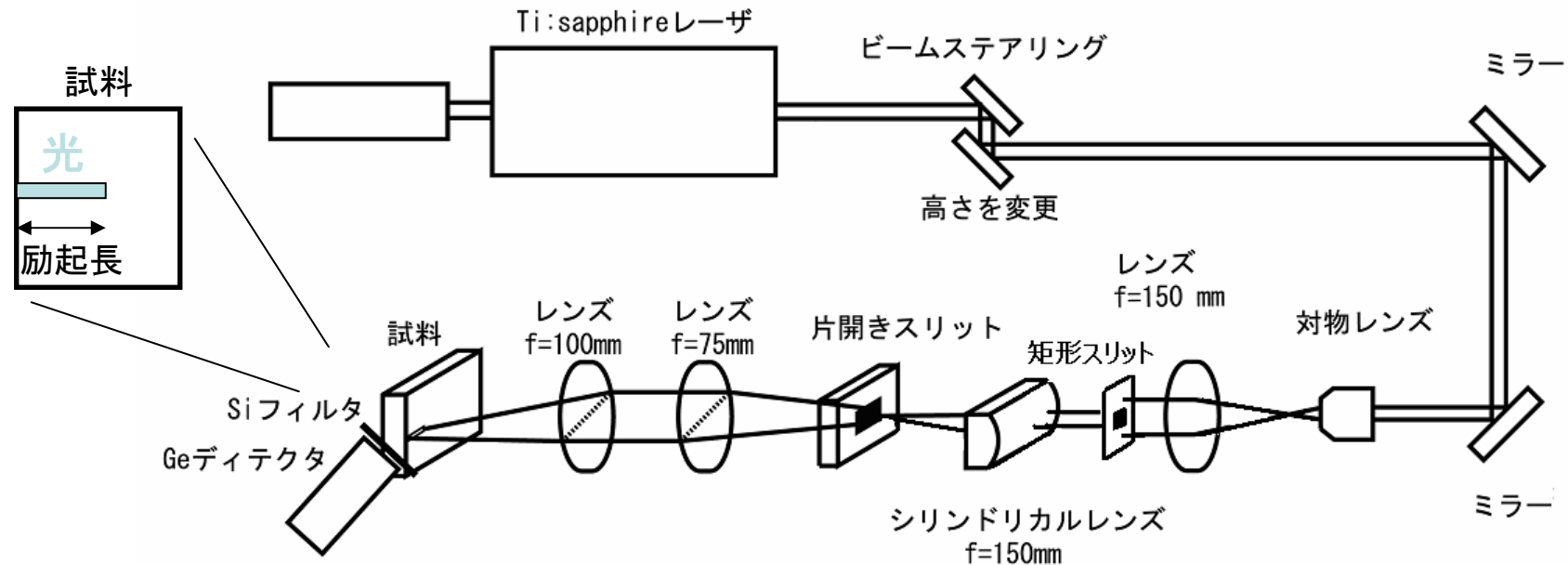
$$I_0 = \frac{I_s}{g} \{ \exp(gL) - 1 \}$$

I_0 : 活性層からの発光の検出強度
 I_s : 単位断面あたりの発光強度
 g : 利得係数
 L : 励起長

励起長を変化させ、発光強度を測定する簡便な手法

VSL法の実験系

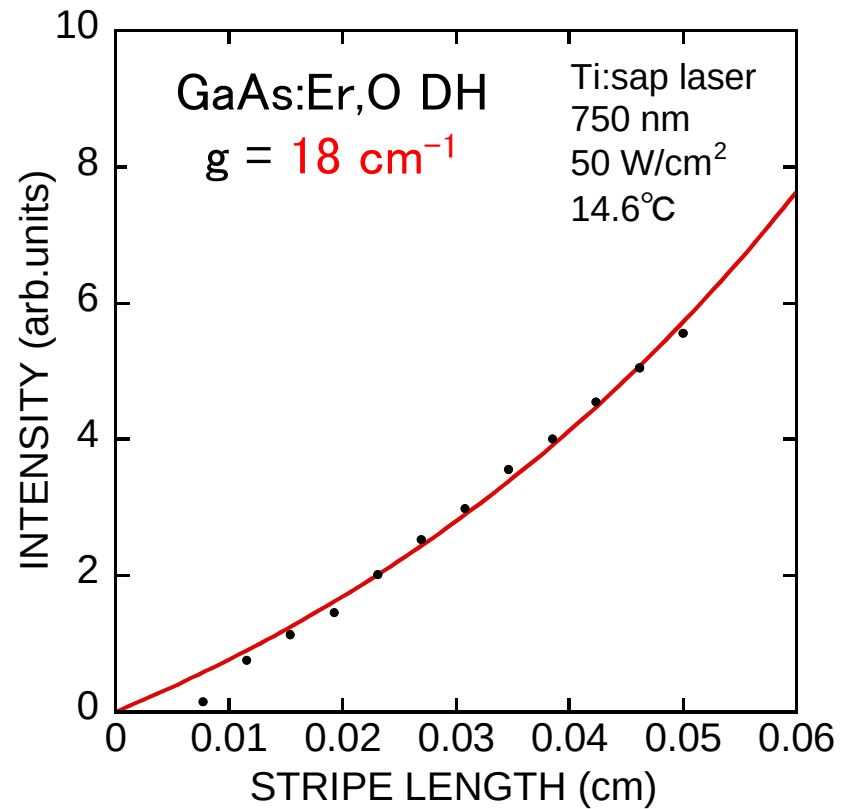
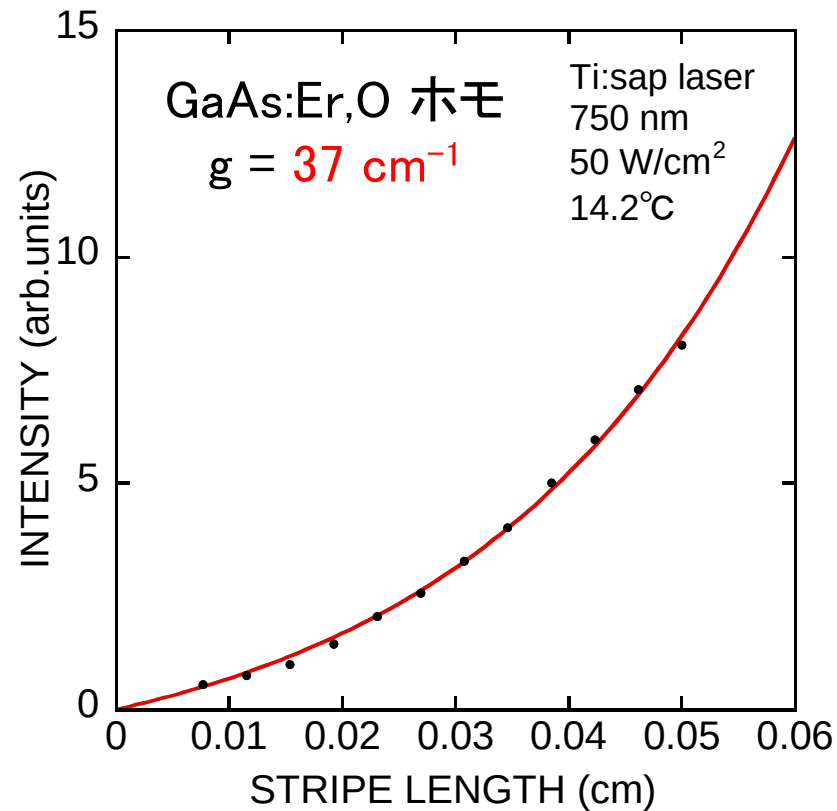
本研究開発で構成したVSL法の実験系



- ・励起光には、Ti:sapphireレーザ(750 nm)を用いた。
GaInPで吸収されず、GaAs:Er,Oで吸収
- ・励起長は、片開きスリットで制御した。
- ・試料からの発光はSiフィルタを通し、分光せずに検出した。

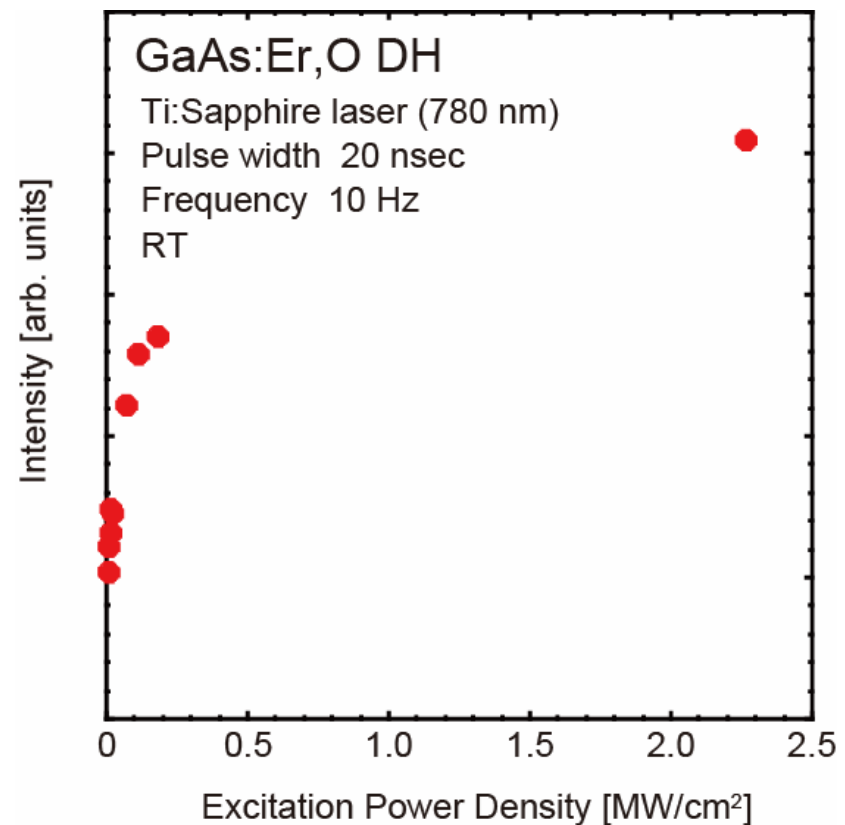
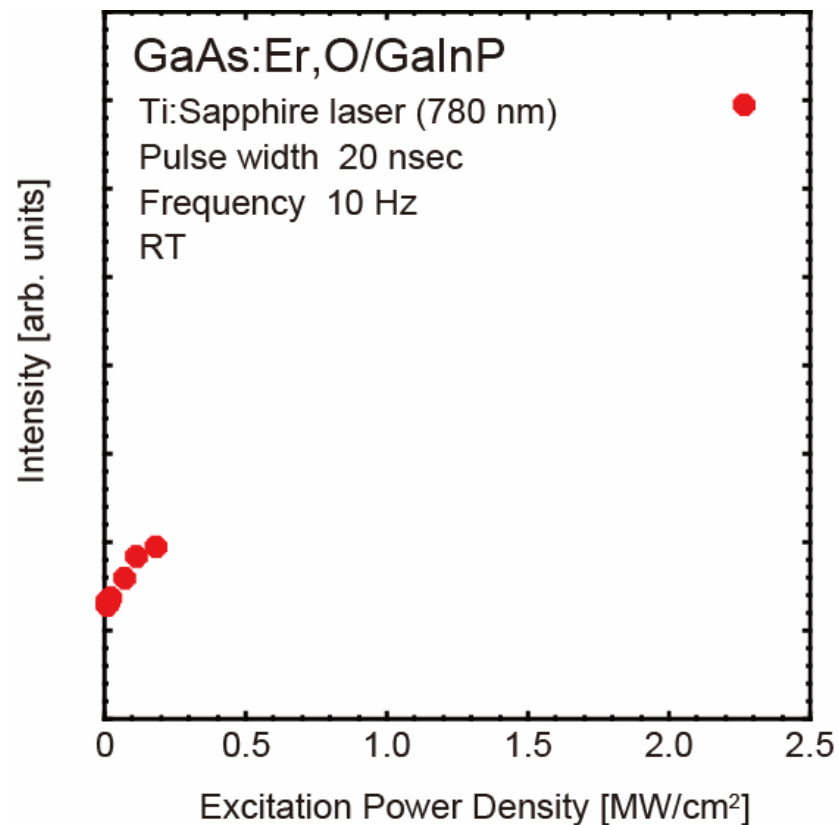
DH構造でも、ホモ成長試料でも測定可能

光利得測定結果



DH構造でも、ホモ成長試料でも、GaAs:Er,Oは光利得を有する

発光強度の励起光強度依存性



GaInP上のGaAs:Er,Oは飽和傾向を示さず

まとめ

GaInP/GaAs:Er,O/GaInP DH構造の発光特性の評価

- GaInP/GaAs:Er,P/GaInP DH構造の有効性の確認
発光強度の増大に、光増幅等の可能性
- Erの有効励起断面積の測定
光ファイバ増幅器よりも大きな励起断面積
- 分離閉じ込め構造の採用
光閉じ込めとキャリア再結合増大の両立

GaAs:Er,O層の光利得の測定

- 光VSL法による室温での利得測定
GaAs:Er,Oが光利得を有する材料であることを確認
- 発光強度の励起光強度依存性
GaInP上のGaAs:Er,Oは、飽和傾向を示さず

GaAs:Er,Oを活性層に用いたレーザ発振の実現可能性は高い