

## LASER의 大出力化와 그 應用

金 映 權

光元電子工大學長, 本學會理事, 工博

### 1. 序 言

LASER의 大出力化에 관한 研究는 LASER와 物質과의 相互作用에 관한 研究로 부터 急速度로 發展되어 왔다. 特히 LASER의 核融合, Energy開發, 同位元素分離, LASER加工等, LASER應用研究에 따라 大出力化, 高効率化, 波長域의 擴大, 高調波發生等の 研究가 積極的으로 進해져서 새로운 發展을 기대하게 된다.

이와 같은 大出力 LASER의 開發은 LASER技術에 關連된 많은 技術에 對하여 波及效果가 期待되는 것으로 尙차 LASER工業의 基礎를 固히하는 project가 될 것이다. 特히 最近에 Energy 소크를 解決하는, 한 方案으로 LASER에 의한 核融合 energy의 實用化가 고려되고 있다. 이것은 超強力 LASER를 開發하여 重水素·三重水素의 飛沫에 照射하여 그때 發生하는 壓力  $10^{12}$ 氣壓, 溫度 1億度の plasma에 의하여 核融合

表 1 核融合用 LASER

特 性	유리LASER	탄산가스 LASER	새 로 운 LASER(Spec)
波 長	1.06 $\mu$	10.6 $\mu$	0.3~0.5 $\mu$
効 率	0.1%	5%	7%
Energy密度	500J/l	15J/l	100~1,000J/l
小信號利得	4~8%/cm <sup>-1</sup>	4.5~5.5%/cm <sup>-1</sup>	
Pulse幅	≥20ps	≥1ns	0.1~1ns
現 存 出 力	350J(1ns)	100J(1ns)	
期 待 出 力	10KJ	10KJ	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup> J
波 長 變 換	0.265~1.9 $\mu$ 可 能	研究中	不 要
平均出力能力	低	大	大

合反應을 實現하려는 것이다. LASER로는 10KJ의 energy를 1ns동안에 投入할 수 있는 性能이 必要하므로 이런 種類的 LASER建設이 計劃되고 있다.

表 1은 이러한 目的에 對하여 現存의 유리 LASER, 탄산가스LASER 等の 仕樣을 表示한 것이다.

### 2. LASER의 大出力化

大出力 LASER의 問題點은 (1) LASER增幅特性, (2) LASER素子の 損傷對策, (3) LASER System 構成등, 세가지로 大別할 수 있다. 여기에서는 大出力 LASER의 代表格인 유리 LASER와 탄산가스 LASER에 關하여 생각해보기로 한다.

均一 스펙트럼 넓기를 갖는 4準位 LASER 增幅에서 光子數을  $I$ , LASER의 上準位의 分布密度를  $n_3$ , 下準位의 分布密度를  $n_2$ 라고 하면

$$\frac{\partial I}{\partial t} + C \frac{\partial I}{\partial x} = C \{ \sigma(n_3 - n_2) - \gamma \} I \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_3}{\partial t} = -\sigma(n_3 - n_2) I \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_2}{\partial t} = \sigma(n_3 - n_2) I - \frac{n_2}{\tau_2} \quad (3)$$

의 關係가 成立한다. 여기서  $\sigma, \gamma, \tau_2, C$ 는 各各 誘導放出斷面積, 損失係數, LASER下準位의 壽命, 光速이다. 이들 파라메터와 初期刀力  $I_0$ 로부터 數值計算을 하여 增幅特性을 推定할 수가 있다.

誘導放出斷面積  $\sigma$ 는 增幅器로서의 좋고 나쁨을 決定짓는 係數이며 同時에 LASER의 上準位의 自然放出係數와 直接關係가 있다.  $\sigma$ 의 값이 클수록 上準位壽命은 一般적으로 짧다. LASER

## LASER의 大出力化와 그 應用

의 上準位壽命은 上準位로부터 下準位로 自然放出과, 非放出過程에 의한 減衰로 나타난다. 따라서 LASER 媒質에 energy를 蓄積하는 pumping速度를 決定하는 パラ메타이다. 유리 LASER인 경우,  $\sigma$ 의 값은 유리組織에 따라 다르지만  $0.9 \sim 3 \times 10^{-20} \text{cm}^2$ 이다.

LASER用 유리의 스펙트럼 幅은  $300\text{\AA}$ 에 이르고 發振 스펙트럼 幅은 特別한 對策이 없으면  $50\text{\AA}$ 程度이다.

損失係數  $\gamma$ 는 유리의 均質性에 따라 決定되고  $\gamma=0.001$  程度이다.

下準位壽命  $\tau_2$ 는 LASER가 4準位로 動作하는가 3準位로 되는가를 決定짓는 파라메타로 動作 펄스幅과 함께 결정된다.  $\tau_2$ 는 100ns 程度이다.

LASER의 增幅特性은 單位蓄積 energy에서의 利得, 即 比利得으로 比較된다. 表 2는 代表的인 유리의 特性이다.

表 2. LASER用 유리의 特性

유 리	ED-2(美國)	LSG91H(日本)
Nd 含有量	3.0wt%	3wt%
Nd 濃 度	$2.99 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	$2.99 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$
형 광 수 명	300 $\mu\text{s}$	310 $\mu\text{s}$
형 광 파 장	1,062 $\mu$	1,062 $\mu$
형 광 파 장 幅	260 $\text{\AA}$	260 $\text{\AA}$
誘導放出 斷面積	$2.6 \times 10^{-20} \text{cm}^2$	$2.5 \times 10^{-20} \text{cm}^2$
比 利 得	$0.14 \text{cm}^{-1}/\text{joule}$	$0.133 \text{cm}^{-1}/\text{joule}$
損 失 係 數	—	$0.001 \text{cm}^{-1}$
損傷 耐力(內部)	—	$400 \text{J}/\text{cm}^2$
(表面)	—	$40 \text{J}/\text{cm}^2$ (HF처리)
	—	$28 \text{J}/\text{cm}^2$ (無處理)
	$51 \text{J}/\text{cm}^2$	$135 \text{J}/\text{cm}^2$ (單一 mode)

유리 LASER에서 LASER作用을 하는 네오디미움(Nd)의 密度는  $10^{20} \text{cm}^{-3}$ 程度이지만  $\text{CO}_2$  LASER를 固體 LASER와 같은 蓄積 energy로 使用하려면 3氣壓以上으로 할 必要가 있다.  $\text{CO}_2$  LASER에서 스펙트럼 幅이 低壓에서는 도플러 幅이 主로 되지만 室溫에서는 60MHz 程度이다. 도플러 幅은 壓力에 依存하지 않기 때문에 壓力의 上昇에 따라 利得은 增加한다. 壓力이 10ton을 넘으면 衝突에 의한 壓力 幅이 (4.5MHz/ton)가 優勢해져 利得의 分散이 일어나 中心利得은 壓力에 관계없이 定하게 된다.

다시 壓力을 높이면 3氣壓程度부터 衝突 幅이 增加하여 따라 振動回轉準位の 隣接利得曲線이 重疊되어 壓力과 利得이 함께 增加한다. 이와같이 動作 壓力의 決定은 特別히 大出力 炭酸가스 LASER의 設計上에 매우 重要한 問題이다.

大出力 LASER의 出力의 上限은 LASER光에 의한 LASER素子の 파괴 때문에 制限을 받는다. 固體 LASER素子和 光學部品등 LASER 장치의 파괴는 內藏不純物이 原因이 되는 파괴와, 光Beam의 自己傳來의 結果로 생기는 異常光電界에 의한 파괴, 그리고 組成的, 構造的 不安定한 境界面의 파괴가 일어난다.

LASER 유리의 破壞耐力은 펄스幅에 따라 다르다. 極히 짧은 펄스에서는 一定에너지로 定해지고, 長 펄스에서는 一定 출력으로 定해진다. 短 펄스에서는 白金微粒子를 내포하던  $12 \text{J}/\text{cm}^2$ , 白金을 포함하지 않으면  $400 \text{J}/\text{cm}^2$ 까지 매우 높은 값을 나타낸다. 問題가 되는 것은 表面破壞와 LASER光의 自己傳來에 의한 破壞이다. 多重 mode LASER에서는 에너지密度  $28 \text{J}/\text{cm}^2$ 에, 表面破壞가 일어난다. 그래서 表面에 여러가지 處理를 해서 破壞가 일어나는 값을 높이려는 試驗을 하고 있다. 그 한 예로 불화수소로 표면 처리를 하면 破壞値를 높일 수가 있다. 그림 1은 Basov에 의하여 裝置된 初態의 大出力 LASER의 略圖이다.

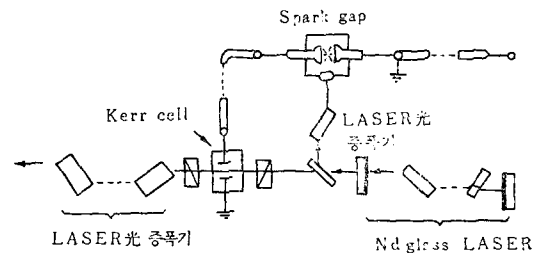


그림 1. 超高出力固體 LASER裝置 略圖 (Nd-glass-LASER-Basov)

### 3. 大出力 LASER의 應用

大出力 LASER의 가장 興味있는 應用은 (1) LASER에 의한 核融合, (2) LASER에 의한

同位元素分離, (3) LASER加工 등이 있다. 核融合反應이 일어나려면, 重水素와 三重水素의 混合 타겟트를 써서 이것에 LASER의 에너지를 集中시켜 순간적으로 核融合反應을 일으키게 하는 것이다. 同位元素의 電子準位 및 分子振動 레벨의 에너지차를 利用하여 LASER光에 의하여 選擇勵起에 따라 多段分離하려는 方法이다. 例를 들면 VF<sub>6</sub> 또는 CO<sub>2</sub> LASER와 같은 赤外線 LASER光으로 同位元素의 特定の 振動 level로 勵起되어, 다음 化學反應이 일어나기 쉬운 電子準位에 可視 LASER光으로 勵起되어 分離한다. 이 方法은 擴散法, 또는 遠心分離法보다 效率이 좋아서 많은 연구가 각국에서 進行되고 있다.

#### 4. 結 言

大出力 LASER는 최근에 에너지問題와 관련하여 美國을 비롯한 世界 各國에서 急速度로 發

展되어가고 있다.

大出力 LASER의 개발에 關하여는 (1) LASER 自體의 研究, (2) LASER材料의 向上, (3) LASER와 物質과의 相互作用의 研究, (4) LASER 應用의 開發 등이 有機的으로 結合되지 않으면 안된다. 應用面으로 보아도 LASER Radar, plasma生成, 核融合, 同位元素分離 등 大出力 LASER開發에 對하여 더욱더 強力한 研究가 必要된다.

#### 參 考 文 獻

1. C.Yamanaka: "Laser interaction with matter" Japan Soc. for the promotion of Science(1973)
2. 小林: LASER應用技術. 日刊工業新聞社(1970)
3. 山中, "LASER HANDBOOK" 朝倉書店(1973)
4. O.P. Judd: Appl. Phys. Letters, 22. (1973)
5. T.A. Cool: IEEE J., QE-9, (1973)

#### 投 稿 要 領

- (1) 本誌에의 投稿는 會員에 限함을 原則으로 한다.
- (2) 本誌의 內容은 報告, 最新技術解説, 세미나抄錄, 技術講座, 技術展望, 海外論文紹介, 圖書紹介, 施設紹介, 特許紹介, 新規格紹介, 會員動靜, 學會消息 등으로 構成된다.
- (3) 本誌에 投稿를 希望하는 會員은 本誌 編輯委員과 事前에 協議하여 執筆 題目과 內容에 關하여 合議하여야 한다.
- (4) 原稿採擇은 本誌 編輯委員會에서 한다.
- (5) 採擇된 原稿에는 所定の 原稿料를 支拂한다.
- (6) 寄稿는 200字 原稿誌 40枚 内外를 原則으로 한다. 但, 그림과 表는 原稿紙 1枚로 看做한다.
- (7) 原稿는 國漢文으로 作成한다.