

未來를 開拓하는 魔術의 光線(레이저) III

—레이저의 여러가지 應用—

姜 衡 富

<漢陽大 工大 電氣工學科 教授>

要 目

1. 總 言
2. 레이저光通信
3. 레이저計測
4. 레이저加工
5. 醫用레이저
6. 레이저에 의한 同位體元素
7. 레이저에 의한 慣性密閉核融合
8. 結 語

1. 總 言

前號까지는 레이저의 特性에 대하여 說明하였는데 本稿에서는 이 特性을 利用하여 어떠한 分野에 應用되고 있는가를 살펴보기로 하겠다.

레이저 光線은 現在 우리들이 잘 利用하고 있는 電波에 비해 一萬倍나 周波數가 높으며, 그 위에 電波가 갖고 있는 特性은 거의 다 지니고 있으므로 그 周波數가 매우 높다는 것이 큰 長點(merit)이 된다. 電波로서 가장 그 特徵을 잘 利用한 應用은 通信레이저다. 周波數가 높으므로 마이크로 波通信에 비해 超多重通信이 可能하다. 通信信號를 搬送하기 위해서는 어떤 周波數의 帶域이 必要하다. 例를 들면 電話에서는 3.4kHz, 텔레비전에서는 4MHz가 必要하다. 레이저 光線의 周波數는 10^{15} Hz 정도가 되므로 이 光線 1線으로 電話信號이면 10^{10} 回線以上の 信號를 보낼 수 있는 셈이다. 最近 매우 가는 石英파이버(fiber)中에서 光信號를 搬送하는 通信方式이 急速히 進展되어 가고 있다. 어쨌든 銅線中에서 電氣信號를 보내는 것보다는 파이버 中에서 光信號를 보내는 것이 減衰量이 더욱 작으므로 光通信이 보다 有望하다고 볼 수 있다. 이것은 파이버의 透明度가 極度로 改良된 成果이며, 材料資源의 面으로 보아도 가까운 將來에는 銅電線 대신에 파이버를 使用하는 光通信時代가 다가올 것으로 豫想된

다.

레이저 光線을 直接 大氣中에 傳播시킬 경우 大氣中에 存在하는 안개, 연기, 水分, 구름등에 의한 吸收, 散亂 때문에 레이저 光線이 크게 減衰되므로 大氣間光通信은 어려운 점이 많다. 그러나 反對로 이 現象을 利用하여 大氣狀態와 環境을 計測하는 레이저레이다가 있다. 한편 宇宙空間에서는 이와 같은 光의 吸收와 散亂이 없으므로 宇宙間光通信은 앞으로 크게 發展될 것으로 期待된다.

레이저를 利用한 計測도 工業計測, 科學計測 등에 劃期的인 成果를 이룩하고 있다. 레이저 光線은 普通光線에 비해 Coherence性이 매우 優秀하므로 測定精度는 顯著하게 改善되었으며 從來는 不可能한 것으로 생각되었던 計測도 可能하게 되었다.

레이저의 에너지를 利用하는 것으로는 레이저加工, 外科手術용레이저메스, 레이저核融合, 레이저同位體分離등이 있는데, 이들은 모두 各分野에 技術革新을 일으키고 있다.

아름다운 레이저는 實用階段에 들어선지 얼마 안 되지만 多方面에서의 應用開發이 進行되고 있으며 앞으로 期待하는 바 매우 크다고 말할 수가 있다.

2. 레이저光通信

여기서는 파이버를 利用하는 光通信에 한하여 說明하기로 하겠다. 레이저光通信이 實用化에 이르게 된 背景에는

- ① 半導體레이저
- ② 옵티컬파이버(Optical fiber)
- ③ PCM(Pulse Code Modulation—펄스符號 變調)

通信技術

의 세가지 領域에서의 큰 進歩가 있다.

當初 半導體레이저가 實用化되기 전에는 主로 氣體

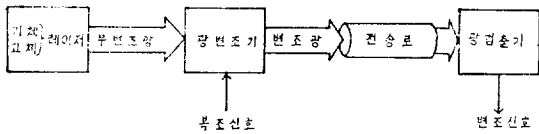


그림 1. 氣體·고체레이저에 의한 光통신시스템

레이저를 이용한 光通信研究가 行해졌다. 레이저 光線은 매우 周波數가 높은 電波로 생각할 수 있으므로 이것을 어떻게 變調하여 復調하는가, 또 어떠한 變調方式이 좋은가, 復調器에는 어떠한 것이 좋은가 등에 關하여 많은 研究가 있었다. 예를 들면 그림 1에 있는 바와 같이 氣體레이저의 경우는 無變調레이저光을 變調信號에 의하여 外部變調한 後 傳送路로 搬送하여 光檢出器에서 다시 復調하는 方式이 使用된다. 그러나 光의 周波數는 너무나 높기 때문에 從來의 電波領域의 方法으로서는 매우 어렵다. 그런데 다행스럽게도 그 當時 PCM 通信技術이 急速한 發展을 이룩하고 있었다. PCM 通信은 通信技術으로서는 高度한 것이지만 情報를 運搬하는 電波와 光을 變調하는 立場으로 보면 오히려 손쉬운 點이 많다. 요컨대 펄스變調(그것도 強度變調)만 할 수 있으면 되기 때문이다. 光의 너무나 높은 周波數 때문에 곤란을 겪고 있었을 때였으므로 이 PCM通信技術은 매우 時期適切한 것이었다. 또 이 時機에 레이저로부터 數百 MHz의 高速光펄스를 發生하는 모오드同期(mode-locking) 技術이 開發되었으며 高速光펄스를 檢出할 수 있는 光檢出器도 開發되었다. 이들을 組合한 光 PCM通信시스템의 實驗도 實施되었다. 이것이 대개 60年代末에서 70年代初頭까지의 狀況이다.

그런데 이때 光源으로 使用된 氣體레이저와 固體레이저는 너무나 크고 消費電力과 電壓도 컸기 때문에 實用的인 通信機器에는 適合한 것이 아니었으므로 레이저의 小型化, 半導體化가 要望되고 있었다. 그러나 그 當時에는 半導體레이저는 아직 室溫에서는 連續發振이 이루어지지 않은 狀況이었다. 1970년에 美國 Bell 研究所에서 前號에서 說明한 바와 같은 二重헤테르 構造半導體레이저에 의하여 처음으로 室溫에서 連續發振이 成功하였으며, 그 後 1萬時間이 넘는 長壽命레이저가 開發되므로서 레이저光通信은 急速한 發展을 이룩하였다.

레이저光通信의 實用化를 促進하는데 있어서 半導體레이저보다 더 重要한 役割을 하는 것이 光파이버이다. 레이저光線을 大氣에서 傳播시키는 大氣傳播레이저 光通信도 생각할 수 있지만 이 大氣傳播에서는 氣象條件에 따라서 傳播特性이 顯著하게 變化하기 때문에 一般的인 光通信에는 適當하지 않다. 光導波路서의 光파이

버는 光信號를 減衰없이 遠距離傳送시킬 수 있어야 한다. 그런데 이러한 低損失光파이버의 開發에는 그야말로 엄청난 努力을 必要로 했다. 특히 1970년에 글라스와 熔融石英은 窯業的方法으로 만든다는 從來의 常識을 打破하여, 高純度半導體와 薄膜의 裝造法인 化學的 氣相析出(Cheical vapor deposition method)을 使用하여 當時로서는 劃期的인 損失 20dB/km의 低損失 실리카파이버(Silica fiber)가 開發되었다. 그 後 低損失化에 대한 努力이 繼續되어 現在는 1~2dB/km (GaAlAs 半導體레이저光의 波長 8,500Å에 대하여), 0.2~0.5dB/km (InGaAsP 半導體레이저의 波長 1.3 μm에 대하여)란 거의 論理의 限界에 가까운 값이 얻어지고 있다. 이러한 低損失光파이버가 開發되므로서 레이저光通信은 實用化에 크게 前進하였다.

半導體레이저는 다른 레이저와는 달리 그림 2에 있는 바와 같이 驅動電流 즉 펄핑을 直接變調하므로서 數百 MHz에 이르는 高速變調가 可能하므로 光變調器

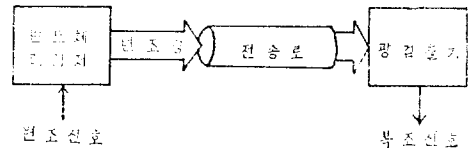


그림 2. 半導體레이저에 의한 光통신시스템

는 必要가 없다. 半導體레이저에는 아직 問題點이 남아 있으나 直接變調가 可能하다는 큰 merit를 지니고 있으므로 半導體레이저를 이용한 光파이버通信시스템은 實驗段階에서 實用化에 急速히 進展하고 있다. 이 通信시스템의 同軸케이블과 導波管을 利用하는 電波通信에 比하여,

- ① 電磁誘導障害와 相互間的 干涉이 없다.
- ② 輕量·細徑이며 銅과 같은 資材를 節約할 수가 있다.
- ③ 廣帶域(km當數 10MHz~數 10GHz)이다.
- ④ 損失이 적다 (km當數 dB 以下)

등의 特徵을 지니고 있으므로 光파이버通信은 電力, 放送, 軍用, 컴퓨터 등의 넓은 分野에서 實用化되기 시작했다.

光通信에는 아날로그通信과 디지털通信의 두가지 方式이 있다. 前者의 代表的인 應用은 칼라텔레비전 畫像信號의 傳送이다. 畫像 및 音聲의 電氣信號를 半導體레이저 光送信機에 의하여 光信號로 變換시켜, 이 信號를 송수신 파이버로 傳送한 後, 다시 光信號를 電氣信號로 變換시키는 方法으로 畫像 및 音聲을 雜音없이 忠實하게 傳送할 수가 있다. 이 아날로그通信은 기타 여러가지의 畫像信號, FAX信號, 制御메타 데이터 信號를 傳送하는데 널리 利用될 것이다.

後者は 디지털信號를 光信號로 變換해서 옵티컬파이버로서 傳送하여 다시 光信號를 디지털信號로 變換하여 受信하는 것이며, 將來에는

① PCM傳送시스템 : PCM화된 電話, 데이터信號를 多重化시켜, 大量的 情報를 長距離 傳送할 수가 있다.

② Computer communication system : 大型컴퓨터와 미니컴퓨터 또는 다른 시스템間的 데이터交換

③ Loop communication system : 넓은 構內에 分散되고 있는 各種 데이터 端末裝置間을 連結하는 데이터傳送路

등의 分野에서 利用될 것이다.

短距離光通信은 現存하는 技術로서도 充分히 可能하나, 長距離通信을 위해서는 超低損失 옵티컬파이버의 開發과 各種結合損失의 輕減, 高性能發光·受光素子の 開發, 기타 많은 技術開發이 不可缺하다.

3. 레이저計測

레이저光線을 利用하는 計測은 表 1에 있는 바와 같

이 매우 多方面에 應用되고 있다. 레이저光線은 普通光線과 比較하여 다음과 같은 特徵을 지니고 있으므로 보다 精密한 計測이 可能하게 되었으며 또 새로운 計測法이 開發되었다. 즉

① Coherency가 매우 좋다. 이것은 光線이 指向性이 좋고 또 두개의 光線을 重첩할 때 干涉이 쉽게 일어난다는 것을 意味한다.

② 스퍩트럼幅이 매우 좁다. 즉 單色性이 優秀하며 時間的인 波의 振動이 매우 鮮明하다.

③ 레이저光線은 放射密度가 매우 크며 大出力의 光線을 쉽게 얻을 수가 있다.

레이저計測을 크게 나누면 다음과 같이 두가지 分野로 區分할 수가 있다. 즉

工業計測 : 工業生産에 直接 關係되는 測定法이며, 주로 巨視的인 (Macroscopic) 量을 測定하는 技術이다. 이들은 原理的으로는 以前부터 이미 實用化돼 있었던 것이 中心이 된다. 따라서 從來의 光學의 知識으로 理解할 수 있는 것이지만 光源으로 레이저를 利用하므로서 劃期的으로 精度가 높아졌다든지, 以前에는 測定이

表 1. 레이저 計測

◎ 關連이 큰 特性

○ 關連이 있는 特性

| | 利用하는 레이저의 特性 | | | | 適 合 레 이 저 |
|---------------|-------------------------|----------------|---------------------------|--------------|-------------------------|
| | 指 向 性 | 單 色 性 | 可 干 涉 性 | 集 中 性 | |
| 길이 短距離 長距離 | ◎變 調 | | ◎干 涉 | | He-Ne 레이저 Q 스위치펄스레이저 |
| 直線基準, 角度 | ◎비 임 | | | ◎펄 스 | He-Ne 레이저 |
| 位置 100m μm | ◎4 思 限 센 서 | | | ◎反 射 光 센 서 | He-Ne 레이저 He-Ne 레이저 |
| 流 速 | | ◎Doppler shift | | | Ar 레이저 |
| 速 度 物 體 | | | ◎ Speckle pattern | | ring laser gyro |
| 回 轉 | | ◎光 beat | | | He-Ne 레이저 |
| 振 動 | | | ◎호 로 그 램 ◎干涉프린지, ◎호로그램 | | |
| 變 位 | | | | ◎ microprobe | 루비, YAG 레이저 |
| 發 光 分 析 | | ◎波 長 可 變 | | ◎펄 스 | Ar 레이저, 色素레이저 |
| 分 光 分 析 | | | ◎光 子 統 計 | | He-Ne 레이저 |
| 微 粒 子 | | ○散 亂 | | ◎펄 스 | YAG, 루비, 色素레이저 |
| 레이저레이다 | | ◎吸 收 反 射 | ○回折 pattern | | He-Ne 레이저 |
| 表 面 檢 査 | | | ◎回折 pattern | | He-Ne 레이저 |
| 形 狀 | | | | ◎短 펄 스 | YAG, 루비레이저 |
| 高速度寫眞 | | | | | He-Ne 레이저 |
| 電氣計測電流 | ◎偏 波 面 回 轉 | | | | |
| 磁界電界 | Faraday 効果 Pockel 効果 | | | | |
| 屈 折 率 | | ○光 散 亂 | ◎干 涉 프 린 지 | | He-Ne 레이저 |
| 光 速 | | ○ beat | ◎位 相 干 涉 프 린 지 | | He-Ne 레이저 |
| 周 波 數 | | | | | |
| 數 值 制 御 | | | ◎干 涉 測 長 | | |
| 工 作 機 械 | ○微小 spot | | | | He-Ne 레이저 |
| 自 動 選 別 | | | ◎干 涉 | | He-Ne 레이저 |
| 醫 用 診 斷 | | | ◎干 涉 | ○펄 스 | He-Ne 레이저 |

不可能한 것으로 되어 있었던 것이 새로實用化된 것이다.

科學計測 : 科學計測에서는 새로운對象이 계속 나오기 때문에 끊임없이 새로운 아이디어가登場해 온다.對象으로 하는測定物은原子, 分子의分光學에서宇宙觀測에 이르기까지 매우 넓은範圍에 있으며 이러한計測法의發展은結果적으로工業計測이發展을促進한다.

表 1은 레이저의 여러가지特性을利用한計測法을分類한 것이다.

그러면 레이저計測法에서代表的인 것에 대하여說明한다.

(1) 레이저光의強度를利用하는計測

이것은 레이저光線의 비임으로서의直進性, 指向性의特性을利用한 것으로位置에關한情報를 얻는 것을目的으로 하는 것이 많다.

① 直線의規準

土木計測機械로서 많이實用되고 있다. 즉 레이저레벨(laser level)計, 레이저트랜시트(laser transit)照準器, 레이저알라이너(laser aligner) 등이다. 이들은望遠鏡으로 보는目視測定法에 의한從來의計測法에比하여連續적으로位置測定을 할 수 있다든가 턴넨등의어두운곳에서도明瞭히位置를識別할 수 있다는 등의特徵을 갖고 있다. 그 외에直進하는光을檢出하여光信號를電氣信號로變換하므로써自動化, 省力化에適合한裝置를 쉽게 만들 수가 있다.

② 距離測定

目標物까지의距離를 레이저光線의直進性을利用하여測定하는方法이다. 레이저光線이目標物에到達하는데要하는時間 T를測定하면距離 L는 $L=CT/2$ 式으로부터 구할 수가 있다. 단 C(光速) $=3 \times 10^{10}$ cm/sec이다.距離 L를測定하는方法에는 이와 같이 매우 짧은레이저펄스光을送出하여, 그것이目標物로부터되돌아올 때까지의時間을測定하여直接距離를 구하는方法과連續적인光線을送出하여目標物로부터되돌아온光波와送出한光源사이의位相差로부터 구하는方法이 있다.精度를 생각하면後者の方法이優越하지만前者의펄스方式은測定時間이 짧으므로 보다實用的이다. 이와 같은펄스方式에 의한레이저레이다는大氣環境의保全과監視를 위하여 널리利用되고 있다. 레이저레이다는 레이저光線을大氣에向하여送出하여大氣中에浮游하고 있는微粒子로부터 돌아오는反射光을測定하므로써微粒子까지의距離, 그密度와組成, 그리고移動速度도 함께測定할 수가 있다.

(2) 干涉計測

2개의光을중첩하면 이들은 서로干涉하여明暗의프린지(fringe)를形成한다. 이明暗의프린지의數로부터2개의光의波長の相對位置를 알 수가 있다. 그림 3에表示한 Michelson 干涉計를 생각해 보자. 레이저光線은中央에 있는비임스프리터(beam splitter)에 의하여 두개로 나누어지며, 直進한光은 거울 M₁에서反射되며, 비임스프리터에서直角方向으로 굽혀진光線은 거울 M₂에서反射된다. 이 경우 비임스프리터로부터 거울 M₁, M₂까지의距離가波長の 1/2씩變化할 때마다明暗의프린지는하나씩變化한다. M₁ 및 M₂의 거울에 2개의反射光線은檢出器에서중첩하게 되므로 거울 M₁의位置가 1/2波長만큼變化할 때明暗의프린지가 하나變化하게 된다. 따라서프린지의間隔을測定하므로써波長の 1/10 程度의 길이를正確하게測定할 수가 있다. Michelson 干涉計의應用例로서 그림 4에 있는 바와 같이 비임스프리터와 M₁ 사이에光學材料, 例를 들면 글라스板을 놓았다고 하면 그內部에서屈折率에變動이 있으면干涉프린지가檢出器에서 나타난다. 글라스板의屈折率의均一성이란

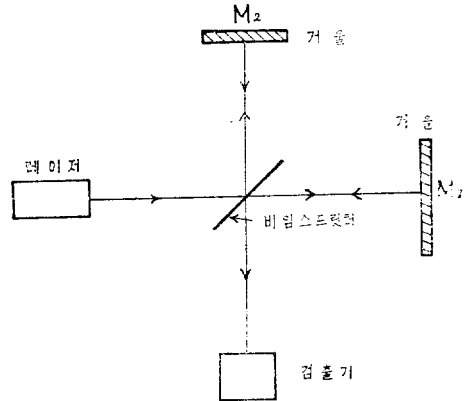


그림 3. Michelson 干涉計

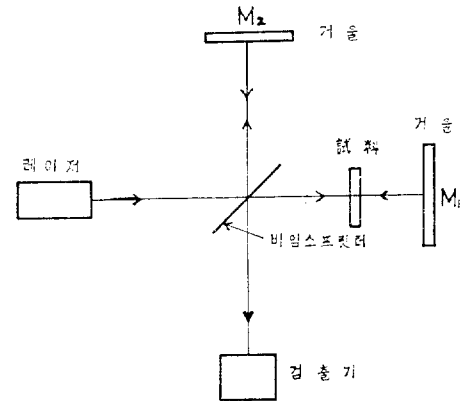


그림 4. Michelson 干涉計의 應用例

가 또는 表面다듬질의 不均一성을 즉시 檢出할 수가 있다. 여기서 特別 重要的 것은 光源으로서 레이저를 使用한다는 것이다. 만일 레이저가 아닌 普通光線을 光源으로 使用하여 Michelson 干涉計에서 干涉프린지를 實現하려고 하면 비임스프리터로부터 兩方의 거울까지의 距離를 같게 할 必要가 있다. 이것은 通常의 光源으로 나오는 光線은 Coherent가 아니기 때문에 同時에 나온 光線의에는 干涉하지 않기 때문이다. 바꾸어 말하면 光波로서의 位相關係가 維持되는 것은 겨우 10^{-8} 秒程度밖에 안 되기 때문이다. 이것으로서는 數 10cm程度의 光路差의 干涉이 겨우 可能하다는 것이다. 이에 比하여 레이저光線은 먼저 나간 光波와 나중에 나간 光波와는 連續의으로 連結되어 있기 때문에 數 km의 光路差도 쉽게 實現할 수 있다. (레이저光線과 普通光線의 特性의 差異에 대해서는 本稿 8月號 參照)

物理的으로 잘 알려져 있는 바와 같이 Doppler 효과를 使用하여 物體의 移動速度를 測定할 수가 있다. 移動하는 物體로부터의 反射光은 그 速度에 따라서 光의 周波數가 시프트(shift)한다. 이것을 Doppler 효과라 한다. 따라서 레이저光線을 移動物體에 照射하여 反射해온 光과 元來의 光을 중첩시키면 Doppler 효과에 의한 周波數의 差에 의하여 비이트(beat)가 나타난다. 이 비이트의 周波數를 測定하므로써 移動物體의 速度를 즉시 檢出할 수가 있다. 레이저光線은 micro波에 比하여 周波數가 매우 높으므로 若干의 周波數의 差異도 檢出할 수가 있으므로 低速度의 檢出도 可能하다. 每秒 0.1mm에서 數 10m程度의 速度도 檢出可能하다.

(3) 光子統計에 의한 計測

光을 光子(photon)로서 檢出하여 그 時間的變動과 振幅의 統計性을 調査하는 方法이다. 이와 같은 光子統計法으로 레이저의 光放射의 統計的性質을 알 수가 있다. 이것을 利用하여 高分子의 Brown運動, 液體와 氣體에서의 分子, 原子의 運動狀態를 計測할 수가 있다. 즉 散亂體의 解析이 可能하게 된다. 또한 溶液中の 懸濁한 粒子의 Brown運動에 의한 레이저光線의 散亂測定하여 統計的인 計算을 實施하면 擴散係數를 推定할 수가 있다. 또 生體粒子의 計測은 生物學關連의 分野 例를 들면 蓄産, 漁業, 醫學 등에서는 重要的 測定데이터를 提供한다. 레이저를 使用하므로써 보다 迅速한 實驗이 可能하게 되었다.

(4) Spectrum에 의한 計測

레이저光線이 지니고 있는 매우 큰 分光放射輝度, 單

色性, 指向性, 集中性 등을 利用하여 매우 多樣한 分光學的情報를 얻을 수 있게 되었다. 例를 들면 螢光의 spectrum, 高分解能에 의한 原子, 分子의 起微細構造의 研究, 또 分子의 回轉振動狀態의 Raman spectrum, 그 외에 레이저光線이 매우 強하기 때문에 觀測되는 非線形分光 spectrum 등이 있다. 이 외에 레이저光線이 微小面에 集中할 수 있다는 것을 利用하여 含有元素의 分析을 하는 레이저마이크로프로브(laser micro probe)라고 하는 發光分光分析法도 實現되기 시작했다.

① 레이저포터리시스(loser photolysis)

레이저포터리시스란 레이저光線에 의하여 物質內에 勵起化學種과 遊離基를 만들어 이들의 動的舉動을 高速分光測定의 手法에 의하여 追跡하는 方法을 말한다. 中間發生種은 매우 短壽命이므로 光의 펄스幅을 極端히 짧게 (psec order) 함과 同時에 出力을 增強시킬 必要가 있다. 레이저光은 또 吸收 spectrum과 맞는 波長으로 選擇할 必要가 있다.

② 레이저質量分析計

레이저質量分析計는 레이저光을 使用하여 物質을 波長選擇的으로 光電離시켜 이것과 分子의 質量測定과를 結合한 매우 高度의 測定法이다. 普通의 質量分析計에서는 같은 質量을 갖인 分子는 區別할 수 없지만, 波長可變色素레이저에 의하여 共鳴勵起시켜 그 위에 勵起分子를 紫外레이저등에 의하여 光電離시키면 光學的 共鳴 spectrum와 質量 spectrum을 同時에 測定할 수

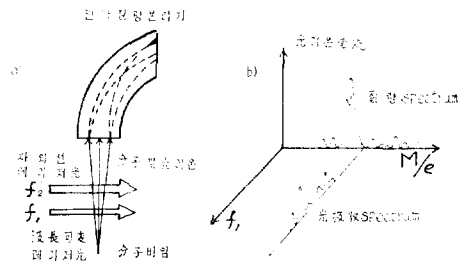


그림 5. 二次元 光質量 分析計의 原理

있으므로 分析精度가 더욱 높아지게 된다. 動作原理圖를 그림 5에 나타낸다. 이 레이저質量分析計는 從來의 電子비임이라든가 眞空紫外光線에 의해서는 이온화가 不可能하였던 物質에 대해서도 適用할 수 있는 高感度の 測定法이다.

(5) 스펙클 (specle)應用計測

레이저光을 흐린유리를 通過시킬 경우 또는 粗面에 照射할 경우 普通光源의 경우와는 달리 이상한 現象이 나타난다. 普通光線이면 均一한 밝음의 分布가 나타나

는데 비해 레이저光線의 경우에는 contrast가 큰 明暗의 斑點模樣이 나타난다. 이것을 스펙클패턴(specle pattern)이라 하며 粗面의 微細한 凹凸에 의하여 擴散되어 그것이 서로 干涉하여 생기는 것이다. 이 現象을 利用하여 非接觸의 으로 여러가지 測定을 할 수가 있다. 스펙클의 나타나는 모양 및 粗面이 移動할 경우의 스펙클의 움직임을 레이저光의 照射, 觀測法 및 運動의 모양에 따라 決定된다. 이것을 利用하여 物體의 移動速度, 物體의 變形, 振動등을 測定할 수가 있다.

(6) 호로그램計測

立體寫眞이라고 말하는 호로그램(Hologram)의 原理는 1948年 英國의 D. Gabor에 의하여 考案된 것이다. 호로그램은 보기에 는 아무것도 撮影되어 있지 않은 것으로 보이는 필름 또는 乾板에 레이저光線을 照射하면 그 필름으로부터 實際 物體像이 나타나는, 그러한 것이다.

호로그램과 普通寫眞과의 사이에는 세가지 큰 差異가 있다. 호로그램에서도 普通寫眞과 같이 光線을 物體에 照射하여 物體에서 反射하는 光이 寫眞乾板에 들어오도록 配置한다. 그러나 普通寫眞과는 달리 렌즈라든가 그에 비슷한 結像裝置는 使用하지 않는다. 따라서 像은 생기지 않는다. 그 대신 物體上의 여러 場所로부터 寫眞乾板全體에 向해서 光線이 닦아 온다. 이것을 物質光이라 한다.

다시 말하면 寫眞乾板上의 各點은 物體全體로부터 光을 받고 있다.

두개의 큰 差異는 物體를 照射할 때 Coherent光을 使用하는 것이다. 즉 레이저光線이 必要하다는 것이다.

셋째의 相違點은 物質光 외에 Coherent光의 一部를 直接乾板에 照射하는 것이다. 이것을 參照光이라 하며 物體光과 이 參照光과의 干涉作用에 의하여 乾板上에 호로그램을 記錄한다. 物體光은 振幅과 位相에 의하여 表示된다. 호로그램의 核心이 되는 問題點은 物體의 信號를 갖인 波面을 그대로 乾板上에 記錄하는데에 있다. 즉 光波의 패턴을 完全히 記錄하기 위해서는 寫眞乾板上에 光波의 振幅과 位相을 同時에 記錄하여야 한다. 光波의 振幅의 記錄은 寫眞乾板上에서 寫眞乳劑의 濃淡으로 記錄할 수가 있다. 그러나 寫眞乳劑는 光波의 位相關係를 전혀 나타낼 수 없으므로 位相의 關係를 乾板에 記錄되도록 適當한 變換手段을 使用해야 한다. 호로그램에서는 位相의 關係는 干涉을 利用하므로서 振幅으로 變換하여 記錄한다. 換言하면 位相關係를 寫眞乾板이 感知하도록 振幅關係로 變換하여 記錄하는 것이다. 두개의 光線을 同時에 寫眞乾板에 서로 다른 傾斜로 入射시키면 두개의 光線의 산과 산이 一致하는

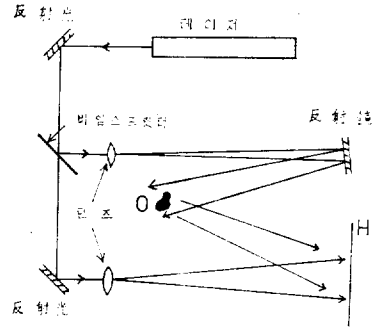


그림 6. 호로그램의 記錄法

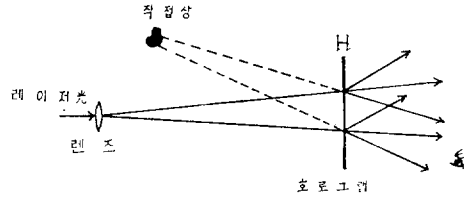


그림 7. 호로그램의 波面再生法

데에서는 強해지며, 산과 골이 一致하는 데에서는 서로 相殺하여 干涉프린지가 만들어진다.

바로 이 干涉프린지가 두개의 光波의 位相關係를 記錄하는 手段이 된다는 것이다. 同時에 物體光의 光波의 振幅은 干涉프린지의 Contrast에 의하여 記錄된다. 光波의 振幅이 작은 데에서는 干涉프린지는 弱하고 振幅이 큰 데에서는 強한 Contrast를 갖게 된다. 이와같이 호로그램으로서 記錄해야 할 光波의 振幅과 位相이 각각 干涉프린지의 Contrast와 干涉프린지의 間隔으로 保存된다. 物體像을 再生하기 위해서는 參照光과 같은 方向으로 光線을 入射시켜 호로그램에 의한 回折效果로 立體인 物體像을 出現시킨다. 그림 6에 의하여 호로그램을 記錄하는 方法을 說明하자. 레이저光線을 半透鏡을 使用하여 二分하여 適當히 光線을 넓게하여 한쪽으로는 物體를 照射하고 또 한쪽으로는 直接寫眞乾板을 照射한다. 이 때 前述한 바와 같이 物體光과 參照光이 干涉을 일으켜 濃淡이 있는 프린지가 寫眞乾板에 記錄된다. 이것이 호로그램이다. 이 호로그램으로부터 像을 再生하는 方法은 그림 7에 表示한 바와 같이 參照光과 같은 方向으로 再生光을 호로그램에 照射하면 元來 그 物體가 있었던 자리에 三次元的인 立體像이 나타난다.

이 호로그램의 原理를 利用하여 變形의 測定, 非破壞檢査, 振動體의 計測, 三次元形狀의 測定 등의 精密測定이 可能하게 되었으며, 앞으로 情報處理技術에 畫期的인 成果를 가져올 것으로 期待되고 있다.

(7) 기타의 應用計測

레이저光線을 利用하는 기타의 應用例를 다시 생각 해 보자. 그 하나로 回折패턴을 利用하여 線의 直徑을 測定하는 方法이 있다.

레이저光線을 가는 線에 照射하면 그 回折像이 그림 8 과 같이 스크린에 나타난다. 이것은 線에서 散亂된 光이 서로 干涉하여 強하게 또는 弱하게 되어 생기는 回折像이며 그 間隔은 線의 直徑에 反比例하는 關係가 있다. 이것으로 線이 直徑을 測定할 수 있다. 이 原理를 工業的으로 利用하는 것으로 線引加工中の 電線의 直徑을 監視하여 制御하는 工程이 있다. 이 回折패턴

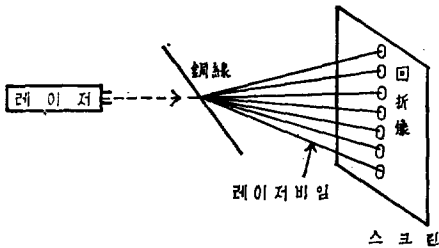


그림 8. 레이저에 의한 細線의 回折像

을 檢知하기 위해서는 一到로 配置된 光다이오드 또는 工業用텔레비전(ITV)를 使用한다.

② 電流의 測定

一般的으로 光을 磁界中을 通過할 때 偏光波長이 回轉한다. 이것을 Faraday效果라고 한다. 레이저光線을 送電線의 주변을 照射하여 그 振動波面의 回轉을 測定하므로써 그 곳에서의 磁界를 알고 따라서 磁界로부터 電流의 크기를 送電線에 接觸하지 않고도 計測할 수가 있다.

즉 送電線주변에 Faraday素子를 設置하여 그 中을 레이저光線을 通過시키므로써 偏光面의 回轉을 일으켜 그 回轉角을 測定한다.

레이저의 利用目的을 살펴보면 計測用인 것이 全體의 30%를 차지하고 있어, 레이저加工處理 등 기타 여러가지의 應用을 훨씬 능가하고 있다. 레이저는 一般的인 測定器로서의 役割뿐만 아니라 起高溫, 極低溫, 超短時間, 超高速度, 超高壓, 超高眞空, 超高安全度, 超精密 등 여러가지 極限狀態에서의 測定手段으로서 重要視되고 있다.

4. 레이저加工

加工이라 하면 옛부터 機械的方法이 主이지만 第二次世界大戰後 電氣應用에 의한 加工法이 새로히 開發

되었으며, 放電加工이라든가 電子비임加工이 새로운 分野를 開拓해왔다. 레이저加工法은 가장 새로운 加工技術이며 加工技術에 革新的인 成果를 가져오고 있다.

레이저加工의 特徵을 간추려보면 다음과 같이 된다.

① 레이저光線은 微小한 焦點에 集中시킬 수 있으므로 加工部分에 加하는 파워를 從來의 加工法보다 훨씬 크게 할 수가 있다. 따라서 從來의 方法으로는 加工이 困難한 材料, 例를 들면 세라믹(celamics), 寶石, 耐熱合金類, 高融點材料 등 硬脆性物質에 대해서도 加工이 可能하다.

② 微小集光點에 에너지를 集中할 수 있으므로 마이크로(micro) 加工이 可能하며 精密한 工作이 可能하다.

③ 非接觸加工이므로 먼 거리에서도 工作할 수 있으며 또한 作業者가 出入할 수 없는 場合에서도 加工이 可能하다.

④ 加工物이 글라스 등 透明體의 内部에 있을 場合에 레이저光線을 外面에서 照射하여 切斷, 溶接 등의 加工이 可能하다.

⑤ 電子비임 加工機에서는 眞空을 必要로 하여 또한 電子비임에 의한 X線을 防護해야 하나, 레이저加工에서는 그러한 問題가 없기 때문에 훨씬 簡便하며 作業性도 훨씬 좋다.

⑥ 마이크로加工 뿐만 아니라, 大出力레이저를 使用하므로써 原板의 加工, 溶接도 可能하며 또한 自動化를 容易하게 할 수가 있다.

그러면 레이저加工의 原理를 살펴 보자. 그림 9와 같이 指向性이 매우 좋은 레이저光線을 렌즈로서 物體上에 集束시키므로써 여러가지 材料를 溶融 또는 蒸發시킬 수가 있다.

레이저光線의 비임의 平行度는 開角 θ 로 말하면 1m rad 정도이다. 따라서 焦點距離 f 가 10mm인 렌즈를 使用하면 焦點의 spot徑 d 는 數 $10\mu\text{m}$ 가 된다. 이 關係는 다음式으로 주어진다. 즉

$$d = f\theta$$

펄스레이저의 出力에너지를 1J, 펄스時間을 $100\mu\text{sec}$

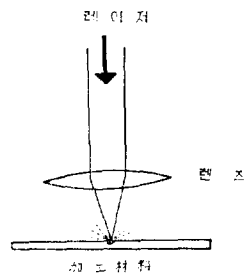


그림 9. 레이저加工의 原理

表 2. 여러가지 熱源

| 熱 源 | spot 面積[cm ²] | 出力密度[W/cm ²] |
|---------|---------------------------|--------------------------|
| 太 陽 光 | 10 ⁻³ | 10 ⁵ |
| 電 子 비 입 | 10 ⁻⁷ | 10 ⁸ |
| 레이저 | 10 ⁻⁶ | 10 ¹⁰ |
| 아테티렌 炎 | 10 ⁻² | 10 ⁴ |

라고 하면 그 平均出力은 1KW가 되므로 焦點距離 10 mm의 렌즈로 集光하면 平均出力密度는 10¹⁰W/cm²가 된다. 表 2에 여러가지 熱源을 使用할 경우의 最小 spot面積과 出力密度를 表示하였다.

레이저加工은 熱加工이므로 레이저光線의 照射時의 材料中の 溫度가 問題가 된다. 溫度는 레이저에 의하여 주어지는 에너지와 材料로부터 散逸하는 에너지와의 버린스에 의하여 計算된다. 金屬表面의 溫度를 沸點까지 上昇시키는데 1msec間照射한다고 하면, 必要한 레이저出力은 거의 大部分의 金屬에 대하여 10⁸~10⁶W/cm²이면 充分하다. 그림 10는 여러가지 加工에 있어서 必要한 레이저出力密度와 加工時間을 表示한 것이다.

그러면 여러가지 加工例에 대하여 簡單히 說明하겠다.

① 레이저에 의한 구멍뚫기 드릴(drill)용으로 使用되는 레이저는 YAG레이저 및 루비레이저이다. 그림 11은 두께 1mm의 다이아몬드다이스(diamond dice)에 구멍을 뚫은 예이다. 一秒間에 1msec의 레이저펄스를 20회정도 照射하면 貫通한다. 지금까지의 다이아몬드다이스의 구멍뚫기加工은, 超音波加工이라든가 放

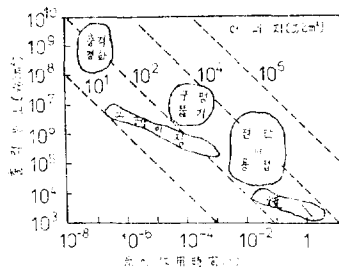


그림 10. 加工에 必要한 레이저 出力密度와 加工時間

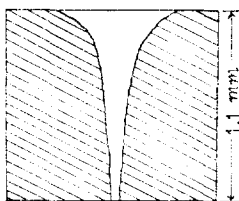


그림 11. 다이아몬드 다이스에 구멍뚫기 加工例

電加工으로 10~15時間이나 걸리고 있었던 것이 단 1秒間에 處理할 수 있게 된 것이다. 스위스에서는 레이저를 使用하여 時計用베어링의 루비를 1秒間에 10개以上 加工할 수 있는 加工機를 導入하고 있다. 이러한 寶石뿐만 아니라 스테인레스鋼, 超硬合金에도 깨끗한 구멍을 뚫 수가 있다.

② 레이저에 의한 切斷

切斷에는 炭酸가스레이저가 많이 使用된다. 加工面에 酸素가스를 불어 넣으면서 加工하면 매우 能率이 높은 加工을 할 수가 있다. 金屬뿐만 아니라 非金屬, 유리등도 쉽게 切斷할 수 있으며, 기타 木材, 종이 洋服地, 皮革등도 곱게 그리고 迅速하게 加工할 수 있으며 纖維加工工業등 많은 工業分野에 널리 利用되고 있다.

③ 레이저스크라이빙(laser scribing)

IC, LSI등의 集積回路는 큰 基板 위에서 만들어지며 이것을 나중에 單體의 素子로 分割한다. 이것을 스크라이빙工程이라 하는데, 이 工程에 레이저를 使用하므로써 生産性を 단계적으로 向上시킬 수 있으므로 工業적으로 널리 利用되고 있다.

④ 레이저트리밍(laser trimming)

電氣抵抗素子에는 抵抗體의 蒸着膜으로 만들어진 것과 抵抗材料의 塗布燒成膜으로 만들어진 것이 있으며, 세라믹 또는 유리 基板 위에 만들어진다. 普通인 경우 所定의 抵抗値에 대하여 數 10%의 誤差가 있으므로 抵抗膜의 一部를 除去하여 所定 값으로 하는 操作을 트리밍이라 한다. YAG레이저가 이 트리밍에 利用되고 있으며, 抵抗値를 測定하면서 L字형의 컷트를 만들어 준다. 電流方向과 直角인 方向의 홈加工으로 粗調整을 하며, 平行方向의 홈加工으로 微調整을 하여 完成시킨다. 다른 方法에 비해 生産性, 加工速度가 優秀하다.

⑤ 레이저에 의한 溶接

레이저에 의한 溶接加工의 問題點은 溶接材料의 溫度를 融點까지 올리지만 材料를 蒸發시키지 않도록 해야 한다는 것이다. 그 때문에 材質, 치수, 形狀에 따라서 레이저의 出力을 調整하여 最適溫度를 維持하도록 해야 한다. 微細溶接에는 固體레이저의 펄스레이저가 많이 利用되며 특히 YAG 레이저가 많이 使用된다. 大치수의 溶接에는 炭酸가스레이저가 널리 利用되고 있다. 表 3에 各種材料의 炭酸가스레이저 溶接의 條件을 表示한다. 自動車의 組立工程에 電算機制御 連續溶接機가 導入되고 있다. 이미 電子비입 溶接機의 分野가 레이저溶接機에 의해 바꾸어져가고 있으며 앞으로의 發展이 注目되고 있다.

表 3. 炭酸 가스레이저에 의한 溶接條件

| 材 | 料 | 板厚(mm) | 溶接速度 (mm/min) | 레이저出力 (W) |
|-----------------|---------|-----------|------------------|--------------|
| 軟 | 鋼 | 200 | 500 | 200 |
| | | 0.1 | 4,570 | 250 |
| | | 0.12 | 9,000 | 600 |
| | | 0.4 | 4,400 | 250 |
| Stainless Steel | 0.8~1.0 | 760~1,020 | 800 | |
| | | 2.0 | 2,500 | 700 |
| | | 3.0 | 800 | 1,000 |
| | | 6.0 | 5,000 | 17,000 |
| | | 17.0 | 600 | 17,000 |
| | | | | |
| Nimonic 90 | 0.25 | 1,800 | 600 | |
| | | Ta | 0.12 | 1,200 |
| Ti | 0.13 | 3,540 | 250 | |
| | | 0.50 | 1,200 | 600 |
| 폴리 에틸렌 樹脂 | 0.12 | 4,800 | 600 | |
| 폴리플로피렌樹脂 | | | | |

⑥ 레이저에 의한 表面處理

炭酸 가스레이저를 利用한 또 하나의 重要한 加工法에 表面處理가 있다. 이것은 레이저光線을 金屬에 照射하여 그 表面을 急速히 加熱하여 急冷却하므로써 燒入, 燒鈍, 表面의 合金化, 表面의 層狀화그레이징(greazing) 등의 加工이 可能하다. 이와 같은 熱處理는 매우 高度한 加工技術에 屬하며 附加價値가 큰 製品에 使用된다.

5. 醫用레이저

레이저光線의 갖는 指向性, 集束性을 應用하여 에너지를 微小한 點에 集中시켜 醫用機器로서 活用하는 分野가 開拓되어가고 있다. 眼底의 網膜의 微小點을 凝固시키는 레이저網膜凝固裝置, 外科手術用 레이저메스, 레이저手術顯微鏡등 여러가지 治療用레이저 裝置가 開發되었으며, 또 레이저에 의한 診斷技術도 進歩하고 있다.

6. 레이저에 의한 同位體元素

同位體元素의 分離에는 質量分析器型의 小規模인 것에서 U濃縮에 採用되고 있는 擴散方式이라든가 遠心分離方式 등의 大規模方式에 이르기까지 여러가지가 있으나 모두 質量差를 利用하는 方式이다. 이에 비해 레이저同位體分離方式은 同位體間의 吸收스펙트럼의 약간의 差異를 利用하여 한쪽의 同位體의 吸收스펙트럼에 精密히 同調하는 레이저光에 의하여 그 同位體를 選擇의므로 勵起하여 그것이 元狀態에 되돌아가기 전

에 第二의 操作에 의하여 勵起된 同位體만을 抽出하는 것이다. 이 레이저方式이 可能하게 된 것은 레이저技術이 發達과 더불어 單色性이 매우 좋고 精密한 波長可變레이저가 開發되어 近紫外, 可視, 赤외의 넓은 波長領域을 커버(cover)할 수 있게 되었기 때문이다.

從來의 質量의 差異를 利用하는 擴散法과 遠心分離法과 比較하여 레이저法의 特徵은 다음과 같다.

- (i) 높은 分離比를 얻을 수가 있다.
- (ii) 에너지效率이 높다.
- (ii) 따라서 經濟的이다.

現在 레이저同位體分離方式은 아직 基礎研究의 段階에 있으나 우리나라의 分離, 濃縮에 關한 研究는 各國에서 특히 힘을 써서 秘密裡에 研究를 展開하고 있다.

7. 레이저에 의한 慣性密閉核融合

레이저를 利用하여 에너지를 開發하려는 研究가 대대적으로 展開되고 있다. 將來의 에너지源으로서의 核融合에너지를 開發하는 研究는 1955년에 開催된 第一回 原子力平和利用會議를 契機로 各國에서 研究가 繼續되 왔는데, 現在 比較的 密度가 낮은 重水素플라즈마를 磁氣容器에 密閉하여 加熱하므로써 核融合反應을 實現하는 磁場密閉(Magnetic confinement)核融合方式과 레이저등을 에너지드라이버(Energy driver)로 使用하여 重水素燃料에 에너지를 集中시켜 瞬間적으로 플라즈마를 生成, 壓縮, 加熱하여 核融合反應을 實現하는 慣性密閉(Inertial confinement)核融合方式이 두가지 方式이 있다.

레이저核融合에서는 그림 12에 있는 바와 같이 球狀의 重水素와 三重水素의 Pellet target (粒狀의 標的)에 高出力레이저光을 照射, 加熱하여 表面에서 球對稱의므로 플라즈마를 噴出시켜 그 反作用力에 의하여

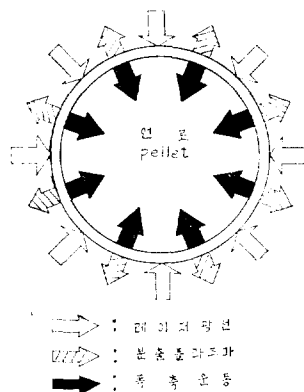


그림 12. 레이저 爆縮加熱의 모델

Target의 中心部를 壓縮하여 固體密度의 千倍 내지 一萬倍의 高密度플라즈마가 發生한다. 그 結果 中心部는 核融合溫度의 一億도가 되며, Insec 以下の 超短時間에 核融合反應이 點火되어 照射한 레이저에너지의 千倍以上이 되는 核融合에너지가 發生한다. 이러한 研究의 將來는 에너지드라이버로서의 레이저의 性能에 달려 있다. 現在 美國 Lawrence Livermore 研究所에서는 10TW의 大出力플라즈마레이저를 利用하여 研究를

展開하고 있다.

8. 맺는 말

以上 레이저應用에 대하여 그概略을 記述하였다. 레이저應用技術은 이미 實用化된 것도 있지만 앞으로의 開發研究에 달려 있는 것도 많다. 그러나 가까운 將來 레이저時代가 다가 올 것이라고 筆者는確信하고 있다.

會員에게 알림

會員여러분의 健勝하심을 仰祝합니다. 1980年度 定期總會에서 1981年度 會費가 아래와 같이 引上되었으니 착오없으시기 바랍니다.

아 래

| | 入 會 費 | 年 會 費 |
|---------|--------|--------|
| 正 會 員 | 3,000원 | 8,000원 |
| 準 會 員 | 2,000원 | 6,000원 |
| 學 生 會 員 | 1,000원 | 4,000원 |

※ 終身會費 80,000원

1年 以上 會費를 滯納한 會員에게는 學會活動에 自進參與토록 促進시키는 見地에서 會費를 納付時까지 不得已 會誌의 配付를 中止하겠으니 諒知하시기 바라며 未納會費를 早速히 納付해 주시기 바랍니다.

아울러 職場移動이나 住所變更 등 變動事項이 있는 會員께서는 電話 또는 書信으로 되도록 學會事務局으로 連絡하시어 會誌發送, 기타 學會行事的 通知에 蹉跌없도록 하여 주시기 바랍니다.

1981년부터 當學會誌에 論文揭載時 인쇄면수 1面當 8,000원씩 投稿者가 부담하기로 되었으니 諒知하시기 바랍니다.