

光通信 시스템의 技術現況〔Ⅱ〕

(光源素子の 應用)

朴 漢 奎

延世大學校電子工學科副教授(工博)

1. 서 론

最近에 光섬유에 의한 光傳送시스템은 光섬유의 低損失과 半導體 Laser Diode를 長時間 使用할 수 있게 개발을 成功함에 따라서 實用化 狀態에 도달하였다. 이러한 狀況에서 LED 多重 모드 光섬유와 Si-PIN Photo Diode에 의한 送受信間 光傳送 시스템은 光通信의 第一階段로서 確實한 進歩를 이루었다.

本稿에서는 이러한 光通信用 LED와 LD에 주어지는 조건과 그에 따른 構造 및 實際의 例를 記述하고자 한다.

1970년 LED가 半導體 表示裝置로 企業의 製品開發競爭이 활발하여 짐에 따라 光通信 分野에도 重要한 技術革新이 일어나게 되었다. 이것은 半導體 Laser의 室温連續發振(CW)의 成功과 光섬유 低損失化의 成功이었다.

이렇게 光섬유를 利用한 光通信이 期待되는 背景에는 복잡하고 다양하게 進行되는 情報社會의 인류에게 光波領域의 정보를 캐리어로서 전달하는 最後最大의 電磁波資源이라는 認識이 있는 것이다.

2. 光通信用 光源素

(1) LED

光通信用 光源素子인 LED는 從來의 表示用

LED와 비교하여 아주 다른 종류의 조건이 要求되고 있다.

첫째는, 光섬유內에 必要한 光出力이 들어가지 않으면 안된다. 보통 사용되는 多重모드 光섬유의 N.A.(開口徑)는 0.1~0.4이므로 LED로부터 光이 光섬유에 입사되어 有效傳送 될 수 있는 光結合効率は 理想的인 狀態에서 1~16%이다. 따라서 LED 出力은 大出力이 要求되며 또한 發光 効率が 커야 한다. 發光波長에 對하여는 光섬유의 低損失波長과 一致한다. 發光 스펙트럼의 半值幅은 좁은 것이 要求되나 이는 보통의 多重모드 光섬유의 펄스 傳送容量이 1km 정도의 거리에서 數 10 MHz 정도이므로 모드간의 傳送速度差에 의한 光펄스 波形的 일그러짐이 생길 염려는, 직접천이형 LED의 發光 스펙트럼 幅에 비해 거의 없다.

보통 LED의 發光効률과 應答速度는 相反되는 特性이 있고 특히 光通信用 LED일 때는 光의 高出력과 수명이 길어야 하는 相反性을 同時에 해결하도록 構造를 形成시켜야 한다. 이러한 問題를 해결하기 위하여 光結合効률을 向上시키는 方法으로 研究가 進行중이다.

그림 1에 도시된 바와 같이 光섬유의 구성배치에 따라 코어의 굴절율을 n_1 , 클래딩의 굴절율을 n_2 라 하고 코어 단면적을 S_0 , LED와의 접합면적을 S_c 로 하면 光섬유의 開口徑(N.A.),

入射임계각 (θ_0), LED에서 광섬유에 入射되는 光電力의 光結合効率을 η 이라 하면 서로의 관계식은 다음과 같이 表示된다.

$$N.A. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\theta_0 = \text{Sin}^{-1} (N.A.) \dots\dots\dots(2)$$

$$\eta = (N.A.)^2 S_o < S_c \dots\dots\dots(3)$$

이다. 여기에서 開口徑(N.A.)이 커질수록 光結合効率이 좋아지지만 N.A.가 커지면 원거리 通信의 경우 모드분산이 커지게 되므로 적당하게 취하여야 한다.

이러한 結合効率을 향상시키기 위하여 다음과 같은 여러가지 方式이 있다.

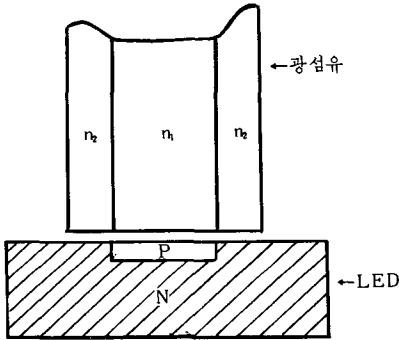


그림 1. LED와 광섬유 ①

- ① 高電流密度動作에 의한 高輝度化
- ② 外部反射鏡에 의한 發光指向性의 尖銳化
- ③ 光섬유 先端部의 加工에 의한 結合効率改善
- ④ LED와 光섬유 端面間에 中間物質을 삽입하여 結合効率을 改善하는 方法
- ⑤ LED 自體의 形狀加工에 의한 發光指向性 改善

以上の 方法에서 量産性으로 볼때 長短이 있으나 첫번째와 같은 高電流密度動作에 의한 高輝度化 方法은 그림 2와 같이 Burrus型 LED (Surface Emitter LED)로 LED 칩에 구멍을 파서 광섬유를 직접 소자에 연결하여 結合効率을 向上시킨 것이며 이러한 形態는 金

屬電極 바로 밑에서 電流密度가 제일 높다. 즉 이 부분에서 發光相態가 가장 크고 高密度電流動作에 의한 局部的인 發熱의 放散이 편리하게 되어 있는 것이 특징이다.

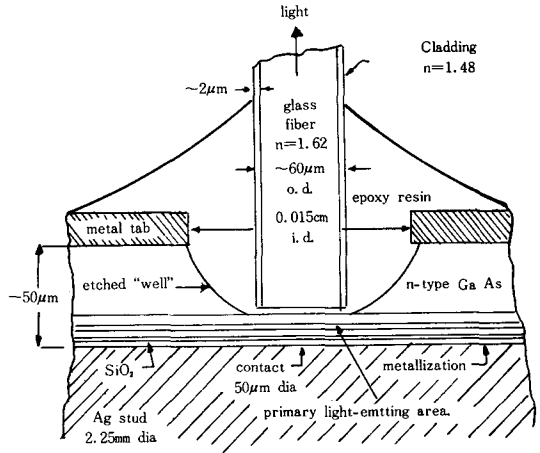


그림 2. Burrus形 LED의 構造 ②

둘째로, 外部 反射鏡에 의한 發光指向性을 提高하게 하는 方法으로 端面發光型 LED에 이용되는데 이것은 發光部가 작은 것 (Planar型에서는 最小 30um, 端面發光型에서는 1um x 10um)을 利用하여 構圓反射鏡에 의한 集光이 可能하므로 光섬유의 先端部를 球形으로 加工하여 結合効率을 改善하는 方法으로 그림 3과 그림 4와 같은 것이 代表的인 例에 屈한다. 이러한 경우 發光面積은 先端部가 球形인 光섬유의 지름보다 충분히 작아야 한다.

세째로, 中間物質을 삽입하여 集光시키는 方法은 그림 5와 같이 적당한 굴절율과 투과율에 의한 球렌즈를 LED와 光섬유 先端部 사이에 삽입하여 LED에서 發光된 光出力을 球렌즈를 통하여 光섬유에 入射시키는 結合方法이다.

이 밖에도 LED 自體의 形態를 加工하여 發光指向性을 改善하는 方法들이 있는데 그림 6의 (a)와 같이 GaAs 基板側의 禁止帶幅이 커지는

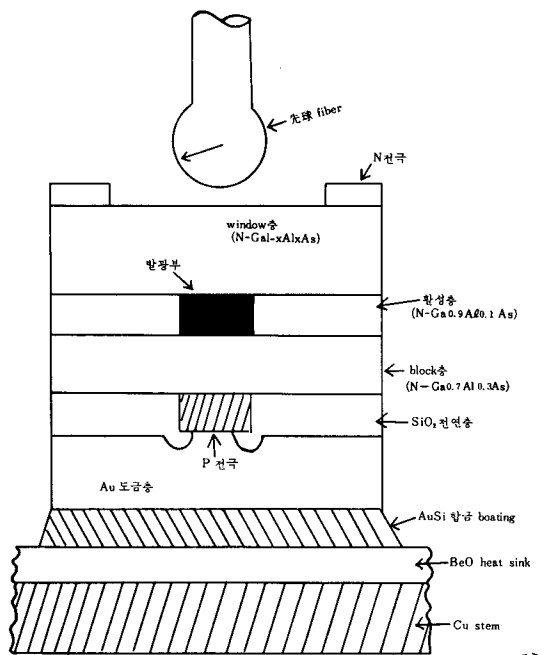


그림 3. 光섬유 先端部 球形과 LED의 構造 ①

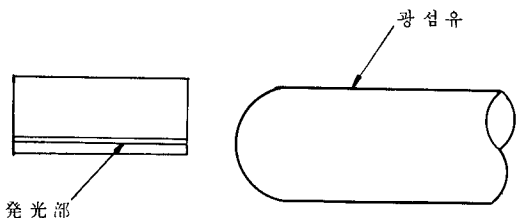


그림 4. 端面發光型 LED와 先端部 球形 光섬유 ①

液相에, 피택시알(LPE)층에서 形成되어 光흡수가 적은 돔이 5cm여분 언어지므로 應用面에서 판들

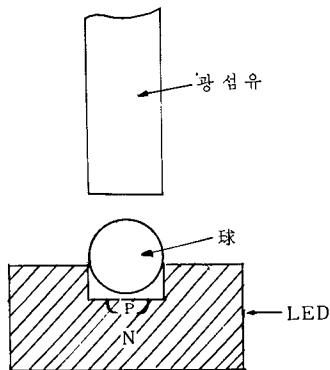


그림 5. 球 Lensoil에 의한 結合 構造 ①

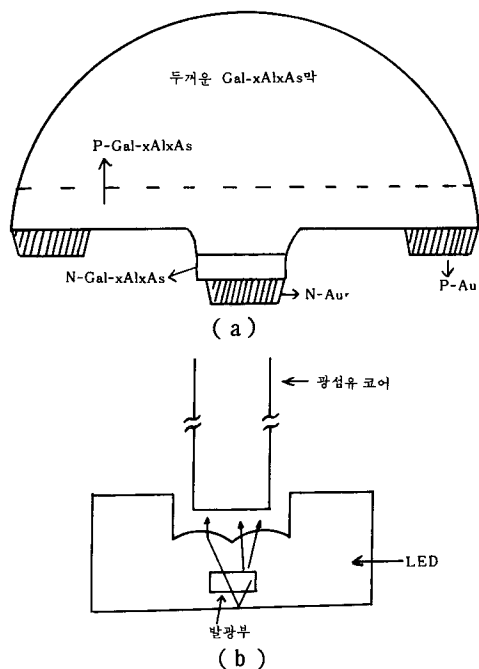


그림 6. (a) 돔형 LED (b) Burrus型 LED ①

型 光섬유에 利用된다. 그림 6의 (b)는 Burrus型 LED의 구멍에 半球의 起伏를 加工한 것이다.

以上的 여러 가지 方法을 通하여 LED에서 光섬유로 傳送되는 電力은

$$P = BsAs\theta = BsAs(\pi(N, A)^2) = 2\pi BsAs n_1^2 \Delta \dots (4)$$

이다. 여기서 Bs는 광원 출력광, As는 발광면적, θ 는 光섬유의 受光角이며, n_1 은 코어의 굴절율, n_2 는 클래딩의 굴절율, Δ 는 $(1 - \frac{n_2}{n_1})$ 이고, 보통 表面發光 LED의 결합손실은 -16dB 정도가 된다.

그림 7은 端面發光 LED, 先端面發光 LED, Laser Diode의 결합손실을 光섬유의 開口徑의 함수로 나타낸 것이다. 예로서 開口徑(=0.14) 光섬유의 경우 表面發光 LED는 -19dB, 先端面發光 LED는 -14dB, Laser Diode의 결합손실은 -3dB 정도가 됨을 알 수 있다. 즉 Laser Diode의 결합효율이 제일 좋고 表面發光 LED가 결합효율이 가장 나쁨을 알 수 있다.

경사형 광섬유에서는 開口徑이 축으로부터 거리에 따라 다르므로 LED와 광섬유간의 결합이 더욱 어려워진다.

그림 8은 계단형 광섬유에 대한 경사형 광섬유의 결합효율을 경사형 Profile 계수 α 의 함수로 나타낸 것이다. 表面發光 LED와 先端面發光 LED는 동작전류 100~200 mA 파장 0.8~1.2 μm 에서 수 mW의 출력을 낼 수 있다.

LED에서 發光되는 傳送電力은 [4]

$$P(w)/P(0) = \frac{1}{[1 + (wz)^2]^{1/2}} \dots\dots (5)$$
으로 주어지며, Z는 전자의 결합시간이고 P(w)는 주파수가 W일때의 출력이며, W는 변조주파수이다.

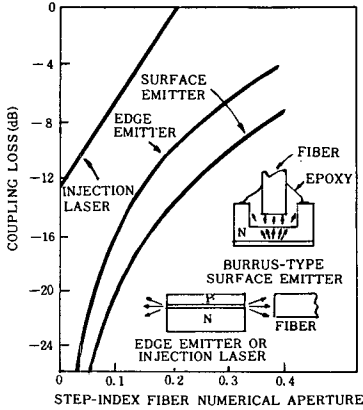


그림 7. N, A에 따른 결합손실 [4]

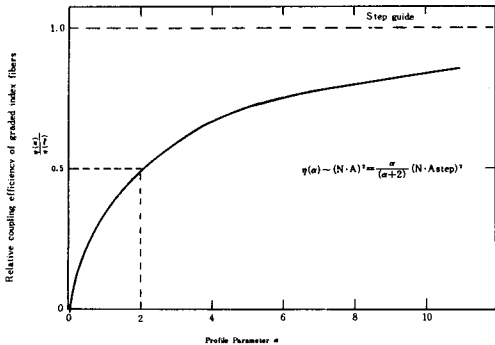


그림 8. 계단형 광섬유의 결합효율 [4]

高發光量, 高速 先端面發光 LED의 -3dB 차단 주파수는 200MHZ 정도로써 Laser Diode의 수 GHz에 비해 주파수 특성이 떨어지

게 된다. 그러나 LED는 Laser Diode에 비해 입력전류와 광출력간의 선형성이 좋다는 장점이 있다.

(2) LD (Laser Diode)

출력광의 퍼짐각(Spread Angle)이 LED보다 작아서 결합효율이 좋으며 스위칭 속도도 빠르고 출력이 LED에 비해 크다. 또 단일 광섬유나 fiber-bundle에도 사용 가능하고 입력전류와 출력광의 선형성이 LED에 비해 조금 떨어지지만 아날로그 변조나 디지털 변조가 가능하며 원거리 통신에 적합하다. 단지 온도에 따른 출력변화가 큰 점이 단점이다.

GaAs와 GaAlAs로 구성된 LD에는 SH (Single-Heterostructure)와 DH(double-Heterostructure) LD가 있다. SH는 활성층인 GaAs나 GaAlAs에 단 하나의 GaAlAs를 접합시킨 형태이며高出력이 要求되는 Low-duty-cycle에 쓰이고 값도 싸다.

최대 光出力은 200 ns 펄스폭에서 發光 활성층의 폭 1 μm 당 1 mW 정도이다. 예를 들면 RCA 2007 같은 9 mm 폭의 發光 활성층을 가진 다이오드의 최대출력은 9~10 W 정도된다. 그러나 다이오드에서 발생하는 열이 LD 동작에 영향을 주므로 펄스폭과 펄스 반복율(Pulse repetition rate)을 적절하게 조절해야 한다. 결국 최대 펄스폭은 20 ns이고 최대 duty Cycle은 0.1%, 반복율은 5 KHz 정도가 되지만 펄스폭을 수십 ns로 하면 100 KHz 까지 도 가능하다.

DH Laser Diode는 그림 9와 같이 Al으로 약간 doping된 GaAs의 얇은 활성층 양쪽에 GaAlAs를 접합시킨 것으로 SH에 비해 메이타 처리능력이 좋고 5~10 mW 정도의出力으로 室温에서 CW나 high-duty-cycle 동작이 가능하며, 動作電流와 電壓이 낮아야 되고 변조 速度가 100 MHz 이상도 可能하다.

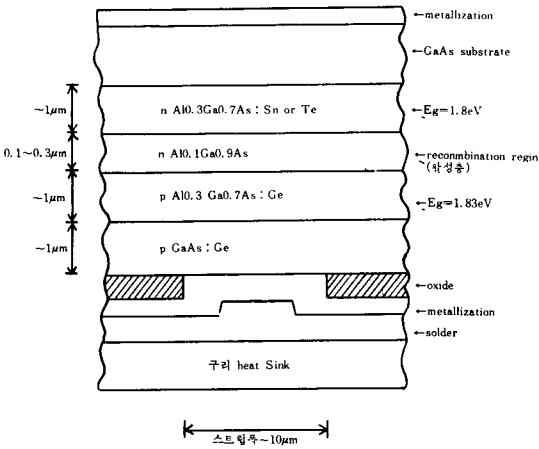


그림 9. DH Laser Diode 구조⁽⁴⁾

LD의 결합효율은 LED 보다 좋다. LD의 光出力이 光섬유로 어느정도 유입되는가를 결정하는 발광각(emitting angle)은 光섬유의 크기와 N.A.에 의존한다. 실제로 유입되는 광량은 그림 10의 fiber collection angle과 Laser radiant flux로부터 구할 수 있다. 결국 bundle packing fraction (core 면적/전체 bundle 면적) 으로부터 光섬유에 전달되는 파워를 구하는 셈이 된다. 예를 들면 RCA C 30130 DH LD는 fiber bundle cable의 실제 作用 지역이 0.015 inch이며 레이저 chip 으로부터는 0.120 inch 정도의 간격을 둘때 受光角이 4° 정도되어 4% 정도가 입사된다. 각 光섬유가 bundle의 40% 정도의 면적을 차지하면 LD 出力의 1.6%가 光섬유로 유입된다.

또 光섬유를 L.D.에 좀더 가까이 접근시켜 결합 효율을 높이기 위해 glass window를 제거한 L.D를 사용하기도 하고, 특히 결합효율이 25% 정도가 되는 non-hermetic diode가 있기도 한다.

현재까지는 주로 0.8~0.9 μm 영역의 빛을 내는 L.D.를 GaAs-GaAlAs系를 사용하여 개발해 왔으나 最近에는 光섬유의 最少 감쇄波長 영역인 1.2~1.3 μm의 빛을 내는 L.D.를

In GaAsP系를 사용하여 개발하고 있다.

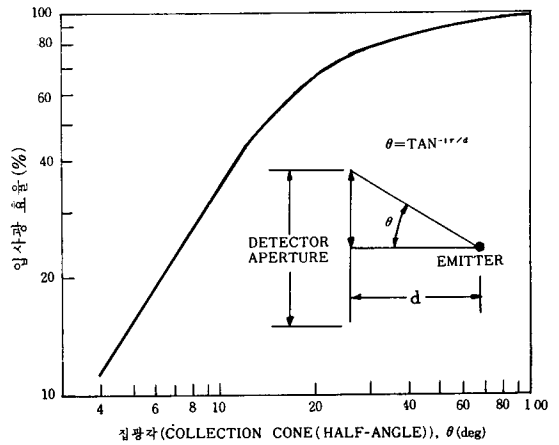


그림 10. 광섬유의 집광각에 따른 입사광효율

그림 11은 다이오드 구성 물질이 변화할 때 發光波長이 상당히 넓은 범위에서 조절될 수 있음을 보여준다. 그러나 아직까지는 InGaAsP系로 만들어진 LD는 수명이 수천시간 정도밖에 안되어 실용화에는 더 많은 연구가 요구되고 있다.

LD의 변조는 LED보다 복잡하다. 그림 12와 같이 入力 電流의 한계치(threshold) 이상에서는 電流가 조금만 변해도 다이오드에 열이 발생하여 동작온도가 달라져서 光出力이 상당히 변화하게 된다. 따라서 LD는 thermoelectric heat pump를 써서 動作溫度內에서 作動시켜야 한다.

그림 12의 오른쪽 特性은 일반적인 broad area L.D.이다. 光出力은 Kink가 발생하는 지점까지는 전류에 선형적으로 변화되나 많은 경우에 Kink가 나타날 때에는 2차 횡모드(second transverse mode)가 발진하게 되었음을 보여주며⁽⁷⁾ 이러한 현상을 나타내는 L.D.는 光出力이 光섬유에 결합될 때 불안정한 특성을 나타내게 된다.

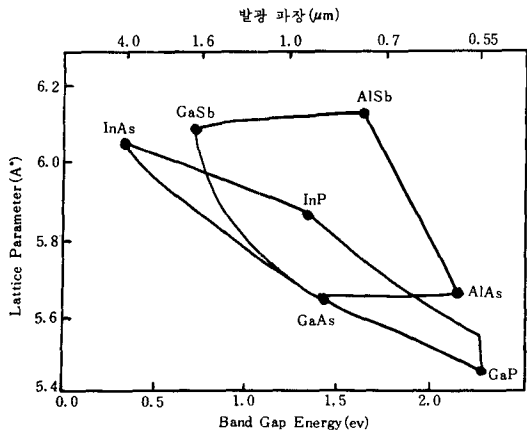


그림 11. LD의 구성요소와 발광파장^[6]

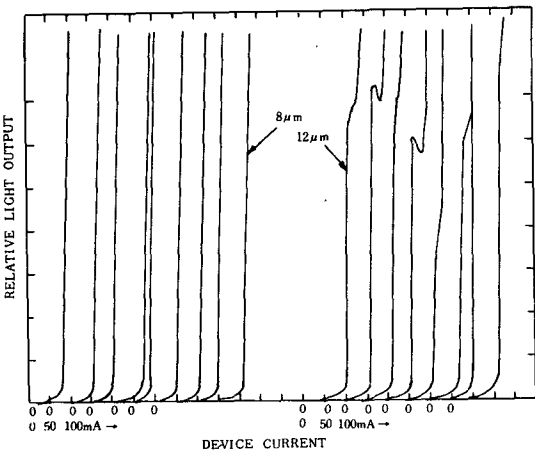


그림 12. 동작전류에 따른 LD의 출력

L.D.의 변조에 있어 주파수가 GHz 영역에 이르면 활성층에서의 반송자와 광자(photon) 간의 상호작용으로 인해서 공진과 같은 현상이 일어남이 관측되었고 이것이 L.D.의 변조주파수의 한계를 규정하였다.^[8] 그림 13은 이러한 현상을 보여준다. 그러나 最近의 많은 연구에 의해 optical feedback을 사용하거나 외부에서 전기적피로를 삽입함으로써 이러한 공진

현상을 감퇴시킬 수 있게 되었으며 따라서 L.D.의 변조주파수는 수 GHz 이상으로 확장되었다.

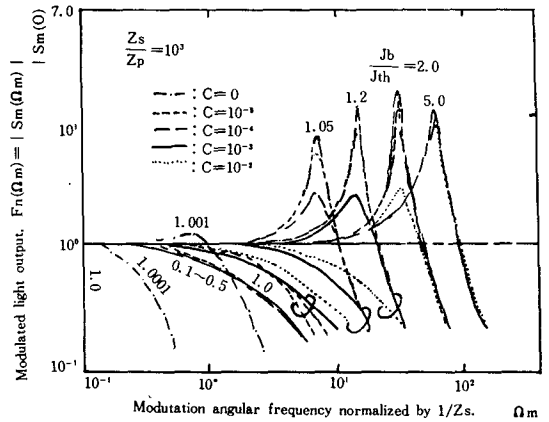


그림 13. Modulation Depth의 주파수 의존성

(3) LED와 LD의 특성 비교

앞절에서는 LED와 LD의 구조나 광섬유와 결합시에 파생되는 문제점을 검토하였다. LED는 비교적 入力電流와 光出力間에 특성이 선형적이었으나 LD에 비하여 주파수 특성이 좋지 않았으며, 이러한 각 소자간의 특성을 일반적으로 살펴보면 표 1과 같다.

표 1. LED와 LD의 비교

종 류	LED		LD
재 료	Ga P	Ga As	GaAs -GaAlAs
파 장	0.5~0.7 μm	0.7~1.1 μm	0.8~0.9 μm
변 조 대역	~10 MHz	~100MHz	~수GHz
광 출 력	~-20dBm	-10~0dBm	≅ 5dBm
스펙트럼폭	200 ~ 400 Å°		2 ~ 20Å°
여 기 조 건	전 류		전 류
	~50 mA	~300 mA	100~200 mA

표에서와 같이 L.D.는 光出力이 LED에 비해 크고 변조속도도 빠르지만 수명이 짧은 것

이 흠이라고 할 수 있다. 또한 변조 대역폭이 LED에 비하여 LD는 10배 내지 수천배 좋은 周波數 特性을 갖고 있다.

參 考 文 獻

1. 佐久田昌明, "光通信", Electronics (Japan), 제 19 권 제 3 호, pp 54, (1977).
2. C.A.Burrus, B.I.Miller, "Small-Area, DH AlGaAs Electroluminescent Diode Sources for Optical-Fiber Transmission Lines", Optics Commun, Vol. 4, pp 307, DEC, (1971).
3. S.E.Miller, etal "Research Toward Optical-Fiber Transmission Systems; Part Ⅱ" Proc. IEEE, Vol.61, pp 1703, DEC. (1973).
4. Giallorenzi, "Optical Communications Research and Technology; Fiber Optics" Proc. IEEE, Vol.66, No.7, pp 759, July, (1978).
5. R.Gundlach, "Fiber-Optic Developments Spark Worldwide Interest" Electronics, pp 92, Aug.5, (1976).
6. H.Kressel, "Light Sources" Physics Today, pp 38, May (1976).
7. N. Chinone, "Nonlinearity in Power-Output Current Characteristics of Stripe geometry injection Lasers" J. Appl.Phys. Vol.48, No.8, pp 3237 Aug, (1977).
8. T. Honq and Y.Suematsu, "Suppression of Relaxation Oscillation in Light Output from Injection Lasers by Electrical Resonance Circuit" IOOC '77 A5-2 (unpublished), (1977).
9. Y.Suematsu etal, "Measurement of Spontaneous emission factor of GaAl-As double-heterostructure Semiconductor Laser" IEEE J. Quan.Electron. Vol. QE-13 No.8, pp 596 Aug, 1977.

