

# INS用光伝送部品

## Fiberoptic Components for Information Network Systems

光加入者線伝送システムは、画像及び高速デジタルなどのサービスを1本の光ファイバにより加入者に提供するものであり、これまで各種の方式検討が行われてきた。これには、光伝送部品として低ひずみ・低雑音のLDモジュール、及び光波長多重伝送を行なうための低損失な光合波・分波器などが要求された。LDモジュールについては、反射雑音低減、光負帰還、高周波重畳、温度制御、光アイソレータ実装などの方法により低ひずみ、低雑音化を図った。また0.81 $\mu\text{m}$ 、0.89 $\mu\text{m}$ 、1.2 $\mu\text{m}$ 及び1.3 $\mu\text{m}$ の4波長LDモジュールを開発した。光合波・分波器は、誘電体多層膜フィルタを採用した。精密光学組立、無気泡屈折率マッチング接着などの要素技術開発も平行して行ない、通過域損失1.6dB以下の4波長光合波・分波器を開発することができた。

吉屋 勉\* *Tsutomu Yoshiya*  
 青木 聡\* *Satoshi Aoki*  
 田中捷樹\*\* *Toshiki Tanaka*  
 森 利行\*\*\* *Toshiyuki Mori*  
 金田愛三\*\*\*\* *Aizō Kaneda*

### 1 緒 言

光加入者線伝送<sup>1),2)</sup>は、光ファイバの広帯域性・低損失性という特徴を生かし、1本の光ファイバで映像[CATV(Cable Television), テレビ会議など], VRS(Video Response System), 高速デジタルなどのサービスを加入者に提供するものであり、日本電信電話株式会社により実用化に向けての開発が進められている。日立製作所でも、光加入者線伝送システムの開発に着手し、同時に光伝送部品の開発もスタートした。

図1に光加入者線伝送システムの基本構成を示す。必要となる光伝送部品の仕様は、システムの仕様及び変調方式により異なるが、基本部品としては、光波長多重伝送を行なうための光合波・分波器及び送信側光源として各種波長のLD(Laser Diode)・LED(Light Emitting Diode)モジュール、受信側にはPIN-PD(PIN-Photo Diode)及びAPD(Avalanche Photo Diode)モジュールが必要となる。

本稿は、この中で変調形式により要求性能の異なる数種類のLDモジュールと光合波・分波器の開発結果について述べる。

### 2 光加入者線伝送用LDモジュール

半導体LDは、光ファイバとの結合効率が指向性の良さからLEDに比べて高いため、長距離伝送への適用が可能である。しかも、変調帯域が広く変調感度も大きいため、ベースバンドTV(テレビジョン)をはじめ、VHF(Very High Frequency)帯のTV信号伝送への適用が可能である。しかし、アナログ伝送系に用いるとLDのもつ可干渉性などに起因するモダル雑音(スペckル雑音), 反射雑音, 温度変化によるモードホップ雑音などにより波形ひずみ, 雑音劣化が生じ伝送品質劣化を起こすことがある。

表1に各種アナログ伝送用LDモジュールの仕様を示す。

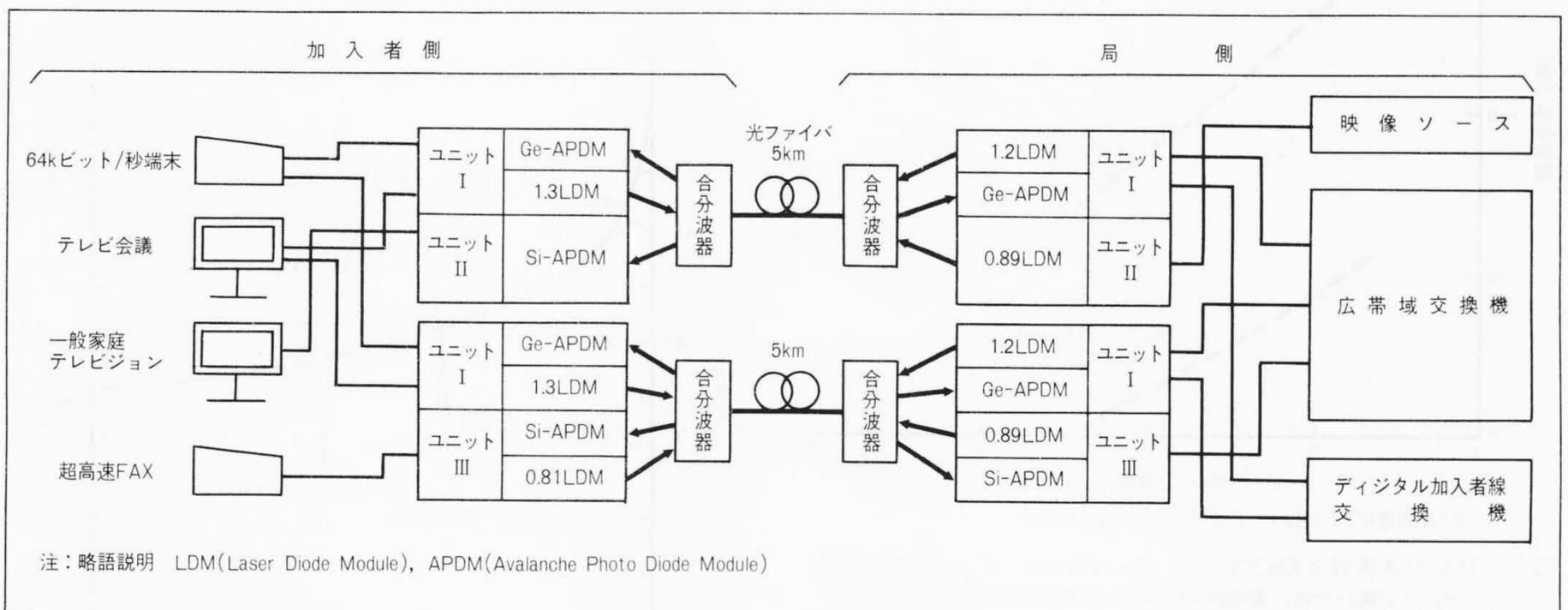


図1 光加入者線伝送システムの基本構成 本図に示す双方向映像伝送システム及び片方向映像伝送システム用に、低ひずみ、低雑音のLDモジュールと光合波・分波器を開発した。

\* 日立製作所光技術開発推進本部 \*\* 日立製作所中央研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所戸塚工場 \*\*\*\* 日立製作所生産技術研究所 工学博士

表1 各種アナログ伝送用LDモジュールの仕様 ベースバンド直接IM及びVHF多重伝送用LDモジュールでは低ひずみ・低雑音が要求される。

No.	項目	単位	ベースバンド直接IM用		VHF多重伝送用		パルス周波数変調用			
			LD890	LD1300	アイソレータなし LD810	アイソレータあり LD810	LD810	LD890	LD1200	LD1300
1	光ファイバ出力	dBm	≥-2	≥-2	≥-2	≥-2	≥-0.7	≥-0.6	≥0.1	≥0.1
2	発振中心波長	nm	890±11.2	1,300±20	810±10	810±10	810±10	890±8.8	1,200±17.5	1,300±17.5
3	モニタ出力電流	mA	≥0.05	≥0.02	≥0.4	≥0.4	≥0.08	≥0.08	≥0.08	≥0.08
4	微分利得 DG	%	システムで≤10	≤10	—	—	—	—	—	—
5	微分位相 DP	deg	システムで≤5	≤5	—	—	—	—	—	—
6	相対雑音強度	dB/Hz	—	—	≤-150	≤-150	—	—	—	—
7	二次高調波ひずみ	dB	—	—	≤-47	≤-47	—	—	—	—
8	光アイソレータ逆方向損失	dB	—	—	—	≥20	—	—	—	—
9	低雑音領域温度範囲	℃	—	—	20±5	20±5	—	—	—	—

2.1 ベースバンド直接IM<sup>※1)</sup>用LDモジュール

ベースバンド伝送<sup>3)</sup>に用いるLD波長は、1.3μmと0.89μmの2波長である。1.3μm波長のLDは、BH(Buried Hetero Structure)LD<sup>4)</sup>を用いた。

LDと多モード光ファイバとの結合には種々の方法があるが、加入者系への適用を考えると低価格化が見込める簡単な結合方法が必要である。そこで、量産性に優れ低価格で、しかもLDへの反射戻り光を低減できる球レンズを用いた単一球レンズ方式を採用した。図2は球レンズ直径とコア径40μmのGI(Graded Index)ファイバとの結合効率の関係を示したものである。サファイアのほうがBK-

7より屈折率が高いため、同一直径ではサファイアのほうが集束性に優れ収差の影響も小さいので、高い結合効率を得られている。ここでは、モジュール化後の軸ずれ許容量、小形化などを考慮し-5dB以上の結合効率を得られる直径2mmのサファイア球レンズを採用した。図3にφ2mmサファイア球レンズを用いた結合光学系について、LD~球レンズ間距離の結合効率、反射光量への影響を示した。

LD~球レンズ間隔dが0.45mmで最大結合効率-3.7dBが得られ、またd=0.5mmで反射結合効率は約-50dBとなる。レンズ表面での反射率は-11dBであるから、全体で-61dBとなる。C/N(Carrier to Noise Ratio)の劣化を抑制するには-60dB以下の値が必要とされており、φ2mmサファイア球レンズ結合系では、LD~球レンズ間隔を0.5mm以上とすることにより達成可能である。球レンズ面からの反射のほかにも、ファイバ入射端及びモニタ・PD、受光面からの反射もあり、これらの反射対策としては、斜め研磨ファイバの適用、モニタ・PDの斜め配置化などを行なった。

LDモジュールのアナログ特性評価には、DG(Differential Gain: 微分利得)・DP(Differential Phase: 微分位相)が用い

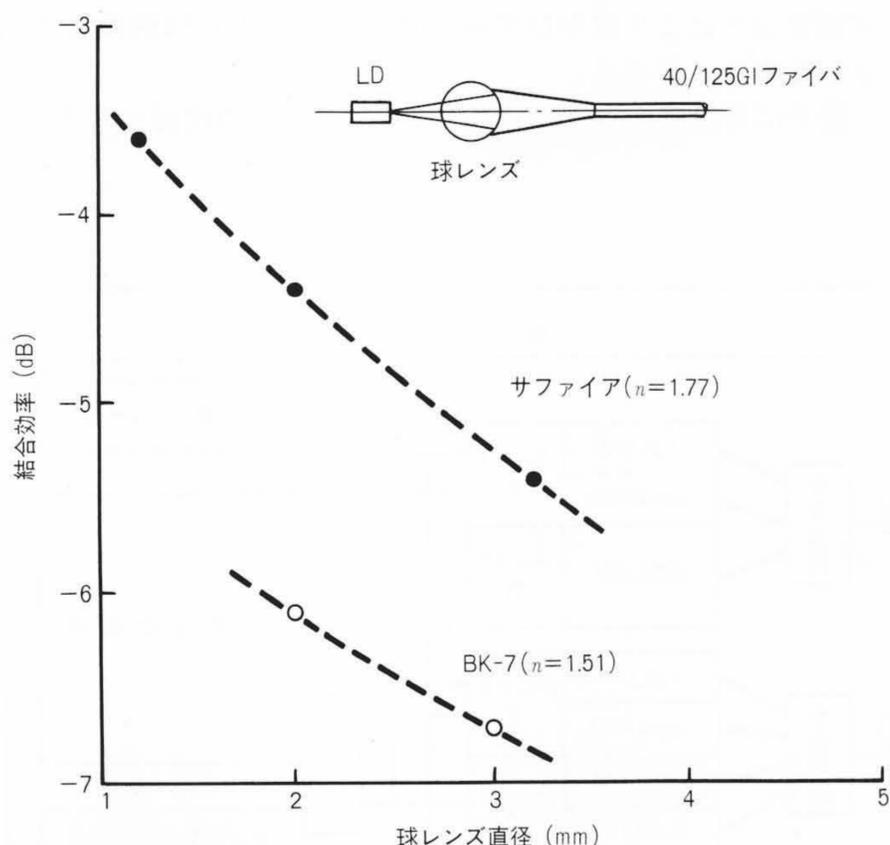


図2 球レンズ直径と結合効率 同一直径では、サファイアのほうがBK-7より屈折率が高いため、集束性に優れ高い結合効率を得られる。

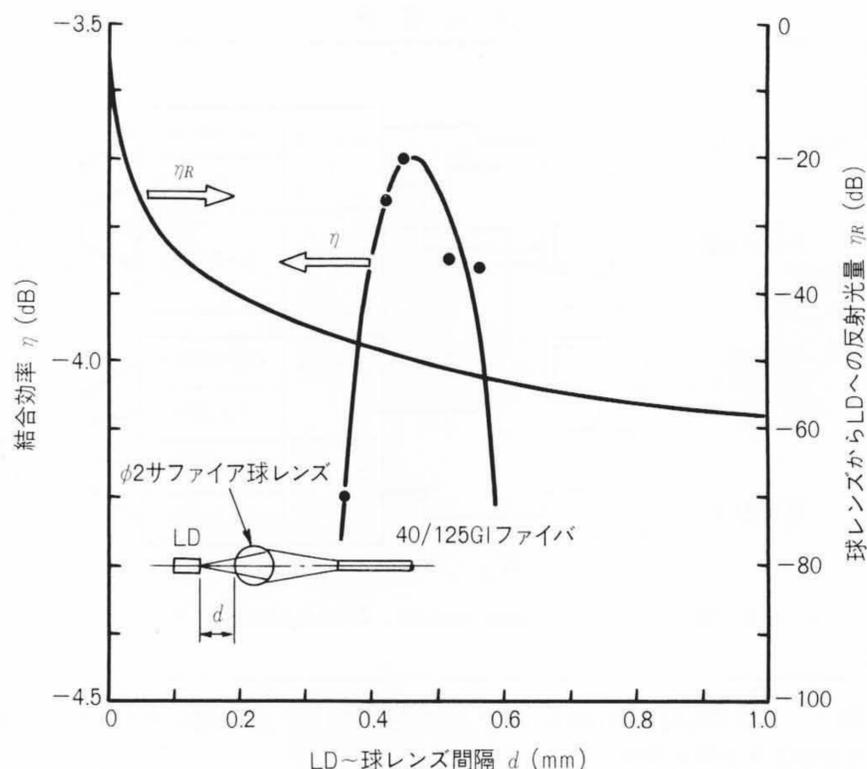


図3 LD~球レンズ間隔と結合変化量 LD~球レンズ間隔dが0.45mmで最大結合効率-3.7dBが得られ、d=0.5mmで反射結合効率は約-50dBとなる。

※1) ベースバンド直接IM(Intensity Modulation): 映像周波数帯域の4MHzの周波数でテレビジョン2チャンネルを光2波長で、強度変調により送るもの。

られ、商用テレビジョン放送では、 $DG \leq 10\%$ 、 $DP \leq 5$ 度が要求される。本システムでは、開発したLDモジュールの内蔵モニタPDを用いた光負帰還法によるひずみ補償を行ない、システム規格 $DG 5\%$ 、 $DP 5$ 度以下を達成している。

2.2 VHF多重伝送\*2)用LDモジュール

VHF多重伝送ではLDのひずみ特性が悪いと、高周波ひずみによりチャンネル間にクロストークが生じ、画質を劣化させるため、直線性の良い単一モード発振LDを安定な発振状態で使用することが必要である。

VHF多重伝送用LDモジュールは、ベースバンド直接IM伝送用LDモジュールと同様に反射低減は不可欠であり、その許容反射量は更に厳しく $-66\text{dB}$ 以下が要求される。

図4は、球レンズ径をパラメータにLDと球レンズの間隔 $f$ とLDへの相対反射結合光量を示したものである。球レンズ材

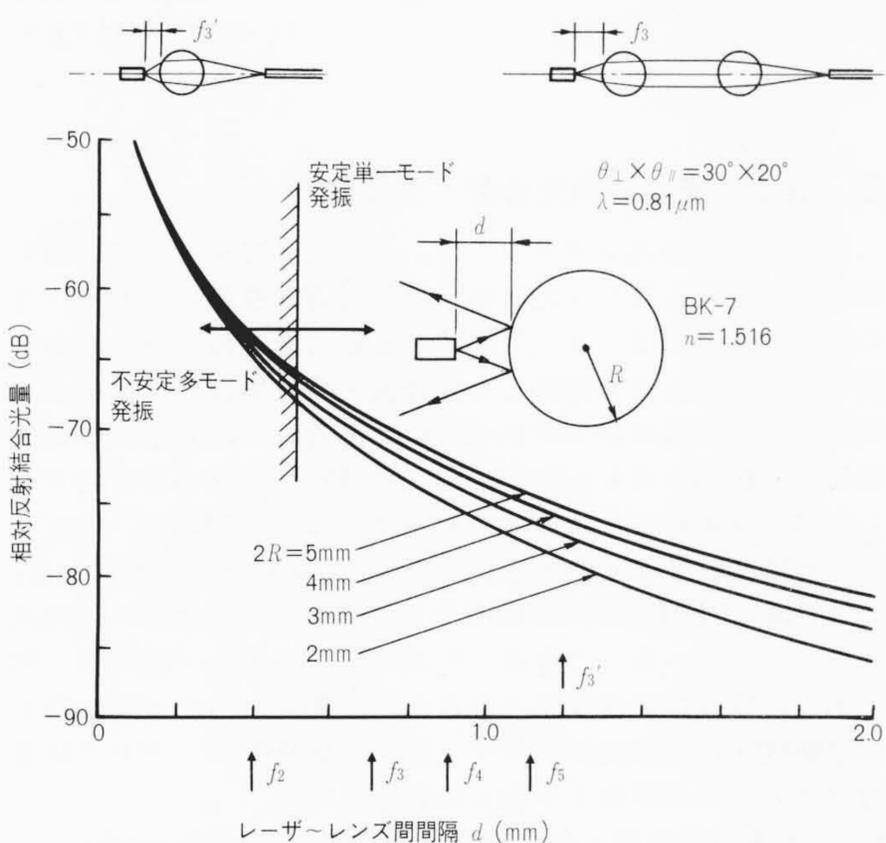


図4 結合用レンズによる反射  $\phi 3\text{mm}$ 球レンズではアイソレータがない場合もアイソレータを用いる場合も、その焦点位置では相対反射結合光量は $-70\text{dB}$ 以下となり、安定な単一モード発振が得られる。

質は、光アイソレータを用いる場合と用いない場合を共通化するため、BK-7を使用した。光アイソレータは光の偏波特性を利用したものであり、サファイアは一軸性結晶で偏光性をもつため用いなかった。 $\phi 2\text{mm}$ 球レンズでは最適結合間隔 $f_2$ で反射量は不安定多モード発振を生ずる許容値と同レベルとなり、VHF多重伝送では使用できない。

$\phi 3\text{mm}$ 球レンズでは直接ファイバに結合するアイソレータなしの場合の間隔 $f_3$ 、光アイソレータを用いる場合の間隔 $f_3$ 共に相対反射結合光量は $-70\text{dB}$ 以下となり、安定な単一モード発振が得られる値となる。このときの結合損失は、 $6 \sim 7\text{dB}$ である。LDモジュールは、低雑音となる温度領域でLDを駆動させるため、温度制御機構を備えた。この温度制御機構には、小形で応答性の良いことが必要のため、ペルチェ素子を用いた。

図5は、発振波長 $0.81\mu\text{m}$ のアイソレータなしの場合のLDモジュールの雑音特性である。アイソレータがなくてもRIN (Relative Intensity Noise: 相対雑音強度)のパターン形状に変化がなく、低雑音領域が保存されている。アイソレータありの場合のLDモジュール構造を図6に示す。ファラデー回転

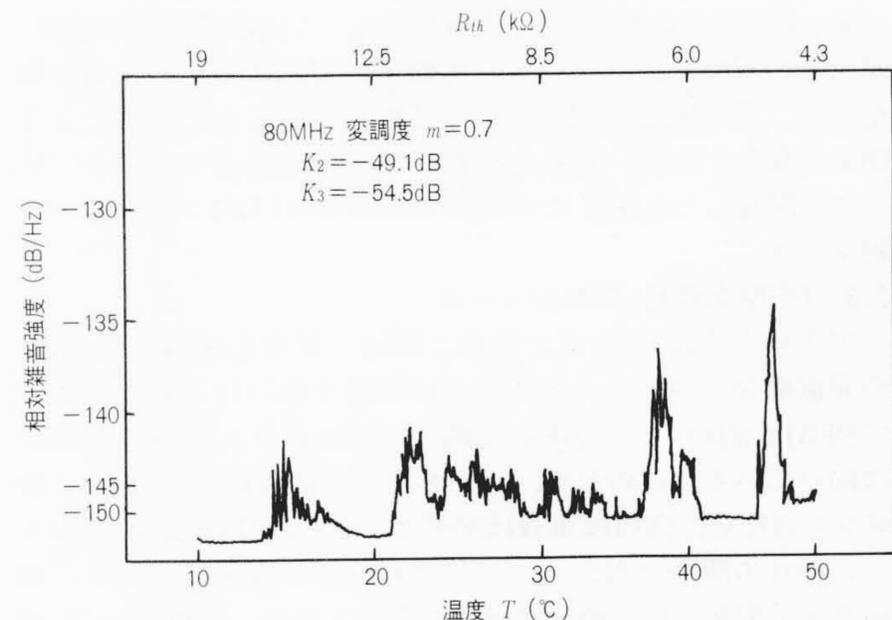


図5 モジュール状態でのLD雑音の温度特性  $10\text{C}$ 及び $20\text{C}$ 近辺で低雑音領域が保存されている。

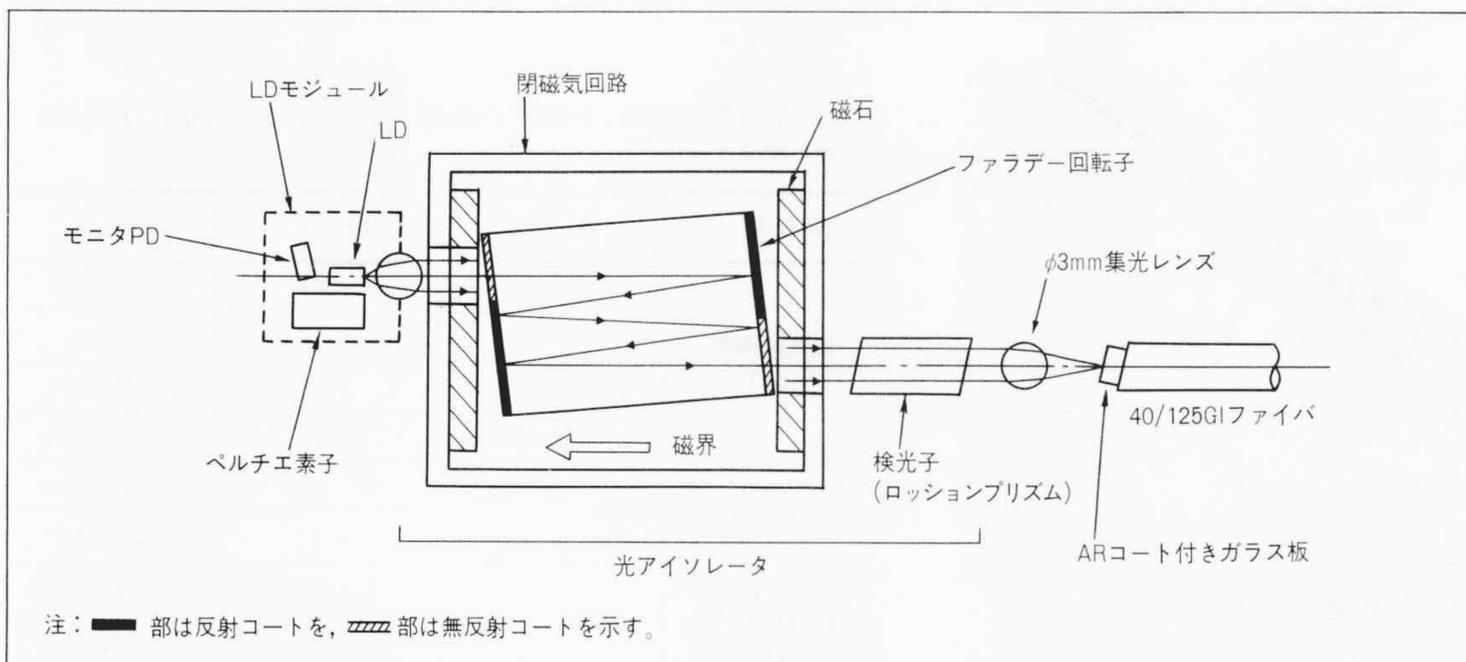


図6 光アイソレータ付きLDモジュールの構成 光アイソレータはファラデー回転子、検光子及び閉磁気回路から構成されている。偏光子は省略した。

\*2) VHF多重伝送：通常アンテナで受信されるVHF帯の搬送波に、複数チャンネルのテレビジョンを載せ光1波長で伝送するもの。

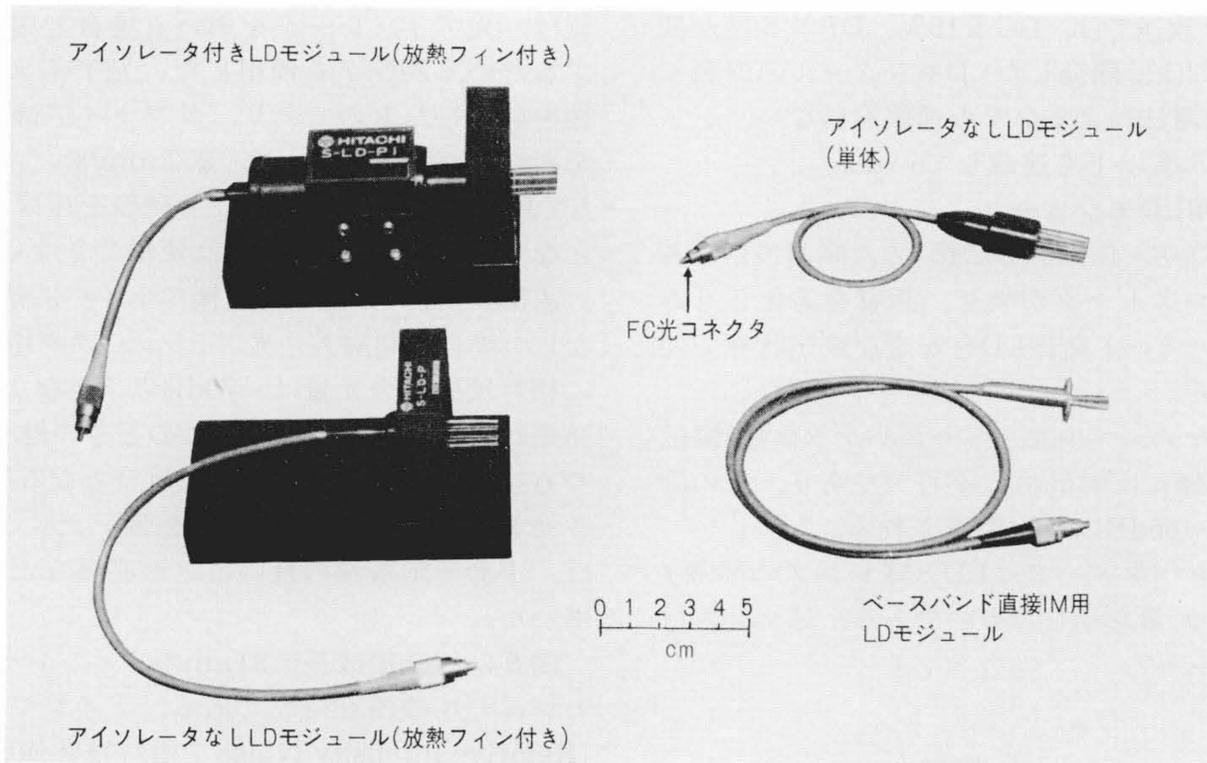


図7 PFM変調用LDモジュール 0.81 $\mu$ m, 0.89 $\mu$ m, 1.2 $\mu$ m及び1.3 $\mu$ mの4種類のLDモジュールを共通化し、かつ小形化を図った。外形はFC形光コネクタとほぼ同じ大きさである。

子にはFR-5磁性ガラスを使用し外部磁石を用いファラデー効果により光の偏波面を45度回転させている。検光子にはロッシェンプリズムを用いた。開発に当たっては内部反射の低減、偏光子の省略化、ファラデー回転子の消光比劣化の少ない固定方法、及び閉磁気回路について検討を加えた。これにより順方向損失3.6dB、逆方向損失27dBの特性をもつ光アイソレータを開発した。図7に本方式で開発したLDモジュールの外観を示す。

### 2.3 PFM変調用LDモジュール

アナログ直接IM方式で重大な伝送品質劣化要因となるLDの非直線ひずみやモード雑音の影響を受けにくい方式としてPFM変調(パルス周波数変調)方式<sup>5)</sup>があり、映像信号伝送に向いている。このため、ベースバンド直接IM方式のような球レンズ結合、高周波重畳は必要としない。PFM変調用LDモジュールの開発に当たっては、これまでの成果に基づき、信頼度・小形化・低価格化に重点を置き、更に、0.81 $\mu$ m, 0.89 $\mu$ m, 1.2 $\mu$ m及び1.3 $\mu$ mの4波長のモジュールとも共通な構造とした。図8にPFM変調用LDモジュールの外観を示す。

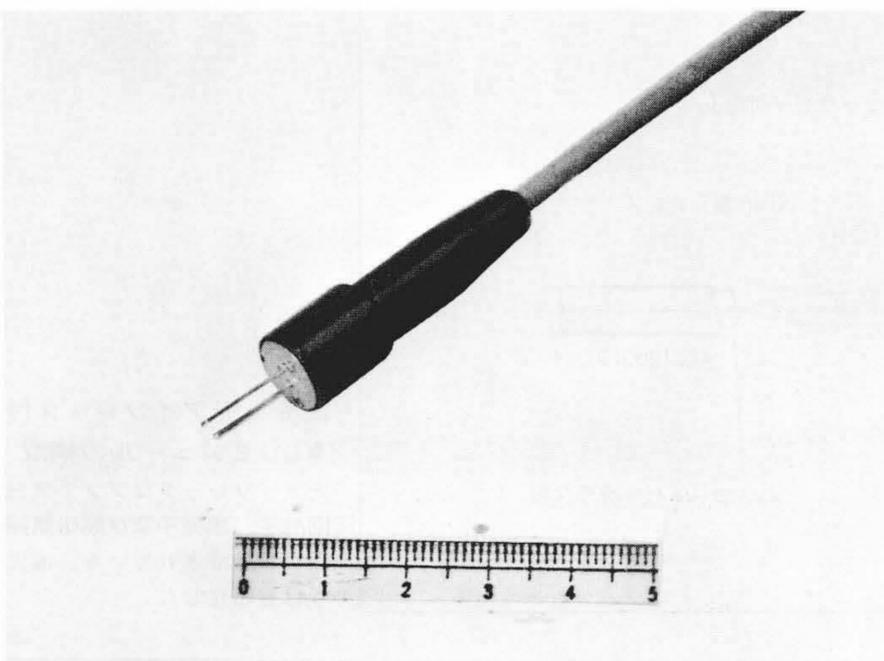


図8 PFM変調方式用LDモジュール 0.81 $\mu$ m, 0.89 $\mu$ m, 1.2 $\mu$ m及び1.3 $\mu$ mの4波長のLDモジュールを同一構造とした。

### 3 光加入者伝送用光合波・分波器

光加入者線伝送システムでは、1本の光ファイバで各種の伝送サービスを行なう光波長多重伝送方式を用いており、この実現のためには、キーデバイスとして光合波・分波器が必要である。これまで開発した光合波・分波器には、波長多重数により3波長及び4波長のものがある。この光合波・分波器は、屈折率の異なるTiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>の誘電体膜を多層蒸着することにより得られる誘電体多層膜フィルタを用いて、光を波長ごとに反射又は透過させる誘電体多層膜フィルタ形である。ここでは、PFM変調用4波長多重用光合波・分波器の開発成果について述べる。光合波・分波器は、低損失・低漏話・無反射という高性能が要求されるため、開発に当たっては精密光学機構・高精度光学組立て・無気泡屈折率マッチング接着などの要素技術開発も平行して行なった。

#### 3.1 4波長光合波・分波器の概要

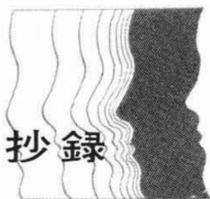
今回開発を行なった4波長光合波・分波器の加入者宅側(FSU)の仕様を表2に、基本構成図を図9に示す。ファイバからの出射光は、コアとクラッドの比屈折率差に対応する広がり角で出射される。この出射光をいったん平行光に変換し、

表2 4波長光合波・分波器の仕様 低損失・低漏話な4波長光合波・分波器の開発を行なった。

特性項目	端子	波長( $\mu$ m)	目標仕様
通過域損失(dB)	0.81→COM	0.81	2.1以下
	COM→0.89	0.89	1.8以下
	COM→1.2	1.2	2.7以下
	1.3→COM	1.3	2.1以下
反射減衰量(dB)			28以上
阻止域減衰量(dB)	COM→0.89	0.81	45.3以上
		1.2	12.8
	COM→1.2	0.81	23.4
		0.89	33.9
		1.3	26.2

注：略語説明 COM(Common Portの略、共通端子)





## Pb-Sn系はんだの鑄造組織と引張特性

日立製作所 佐藤了平・荒川勝広・他2名  
日本金属学会誌 49-1, 26~33 (昭60-1)

LSI・超LSIに至る半導体集積回路技術は急速な発展を続けているが、これを支える重要な技術としてマイクロ接続技術がある。特に、LSI・超LSIなどの半導体素子とその特性を損なうことなく直接回路基板に接続するマイクロ接続技術は、電子回路装置の性能向上、多機能化を目的とした超小形化、高密度化に対して重要な技術となっている。このマイクロ接続技術で、最も高密度実装が可能な方法として、昔からのPb-Sn系はんだを用いたフリップチップボンディング[あるいはCCB(コントロールドコラップスボンディング)]と呼ばれる方法があり、高集積ハイブリッドICのニーズが高まる中で極めて注目されてきている。この方法は直径約0.1mmの微細はんだを用いて、Siチップを直接回路基板に溶融接続するもので、接合部が従来に比較し非常に小さいため、より高い接続信頼性が望まれている。ところが、この強度評価に必要な

機械的性質が十分把握されておらず、信頼度設計ができないという課題があった。

本論文では、実際のはんだ付け状態を考慮したPb-Sn系はんだの鑄造組織と引張特性を把握したものである。

はんだ付けはPb-Sn合金を溶融して被接続材にぬらせた後、冷却凝固したもので、金属組織からみると鑄造状態である。そこで、このはんだを評価する際、加工や熱処理を加えない、いわゆる鑄造はんだの特性を評価する必要がある。引張試料の作りやすさから、これまでは加工材の特性が求められていたため、実際とは適合しない特性が求められていたことになる。

筆者らはこの点に着目して、引張試験形状の黒鉛鑄型を用いて、はんだ付け冷却条件で鑄造はんだ試験片を作製し、組織と引張特性を求めた。Pbの一次固溶体組成範囲で、引張特性はSnリッチなほど硬く小さな伸び特性を示す結果が得られた。これらの

鑄造組織は典型的な樹枝状結晶成長を示し、Snリッチなほど枝間にSnが偏析して濃縮し、結晶粒界には硬い共晶組織が析出した不均質な組織を示した。そのため、すべりによる塑性変形が、結晶粒内範囲に限定され、超塑性に見られる粒界すべりや回転がほとんど見られない。その結果、Snリッチなほど、伸びが減少したものと推定された。このような鑄造組織は実際のマイクロ接合部の表面組織にも見られ、機械的・熱的ストレスによる破壊が粒界や樹枝の枝間に沿った脆性的な様子を示している。そこで、この鑄造材の特性を用いて、実際のはんだ接合部の評価が可能であり、評価する必要がある。

以上、本論文では、実際の接合部に近いPb-Sn系鑄造はんだ合金の組織と引張特性を把握することができた。本結果は、今後ますます微細化されるはんだ接合部の信頼性を向上させるために、いっそう重要になるものと思われる。

## 画像分割型頻度分布に基づくプラスチック部品表面の欠陥検出手法

日立製作所 嶋好博・柏岡誠治・他2名  
電子通信学会論文誌 J68-D, 7, 1384~1391 (昭60-7)

プラスチック製品の製造では、外観検査のほとんどは従来から目視により行なわれており、検査能力の平準化、コストの低減化などから、その自動化が重要な課題になっている。半導体集積回路などのような電子回路もプラスチック材料によって封止して形成される例が多いが、このような電子部品ではプラスチック表面に欠陥があると、水分の混入などによって機能的な欠陥につながりかねないため、その外観検査は極めて重要な工程の一つとなっている。

本論文は、集積回路などの電子部品でのプラスチック表面の欠陥の簡便な自動検出手法について述べたものである。ここでは濃淡画像処理技術を適用し、プラスチック表面の微小な濃淡差をもつ欠陥を自動的に抽出し、部品の外観の良否を判定した。

従来から、画像処理技術を外観検査の自動化に適用した例としては、プリント配線基板の自動きず検査、集積回路製造用のマスクのパターン自動検査などがあり、一部

は既に実用化されている。また、それらの代表的な欠陥抽出方法として、パターンを拡大縮小し微小きずを検出する方法、二つのパターンの比較をもとに異同を判定する方法、設計データとの対比による方法などがある。拡大縮小法では、対象パターンを2値化処理しているため、正常部と比べて微小な濃度差をもつ欠陥の検出に直接適用することは難しい。また、二つのパターンの比較法では、比較する二つのパターンの位置をあらかじめ高精度で位置決めしておく必要があり煩雑となる。更に、対象としたプラスチック部品の欠陥には特有の問題点があり、実用的な欠陥検出手法はまだ開発されていなかった。

そのため、まず、プラスチック部品の表面にある欠け、小穴、膨らみなどの欠陥の光学的な性質と、これらの欠陥を検出する上での課題を明らかにした。次いで、表面の傾斜ばらつきに対して安定した画像を得るため、拡散板を用いた面光源による照明

方式について検討した。そして、この照明法によって撮像した部品表面の画像を部分領域に分割し、各部分領域の濃淡値の頻度分布をもとに欠陥を判別する方法を述べた。

ここで開発した実用的な欠陥検出手順は、まず、部品表面の画像を背景画像から分離するために、画像の濃淡値の投影分布を生成し、その分布値から部品表面の輪郭を抽出した。次に、この表面画像を小領域に分割し、各分割領域ごとに濃淡値の頻度分布を求め、その最小値、最大値、最頻値をもとに、各分割領域内の欠陥の有無を判定した。

最後に、実験システムの構成と電子部品表面の欠陥検出結果を示し、本手法の有効性について検討した。ここでは、あらかじめ良否が分かっている典型的な部品を用いて欠陥検出実験を行ない、すべての部品に対して正しく欠陥を検出することができることを示した。