専門講座：通信用ホトニックデバイス

II プレーナ光波回路

河内 正 夫 (NTT 光エレクトロニクス研究所)

1. まえがき

より効率的で柔軟なネットワーク構造をもつ光ファイバ通信網を構築する上で、光分岐、光スイッチ、波長多重などの機能をもつ受動光回路の果たす役割は大きい⁽¹⁾。従来、これらの光回路は、図1に示すようにプリズムやマイクロレンズなどの組み合わせからなるバルク型光回路[(a)図]や、光ファイバ自身に融着・延伸加工などを施したファイバ型光回路[(b)図]として実現されてきた。しかし、これらのバルク型やファイバ型の光回路形態は、生産性や回路安定性、機能拡張性などに問題を残している。この問題を解決する有力手段として、平面基板上に光の通路(光導波路)を一括形成し、平面導波型光回路[(c)図]を構成することが考えられる。

これまでにも、透光性に優れたガラス材料やポリマー材料を基として平面導波型光回路を実現する試みがなされてきたが、低損失光導波路形成や入出力光ファイバ接続などの難題に悩まされてきたのが実情であった⁽²⁾。

これらのなかにあつて、最近、シリコン(Si)基板と石英(SiO_2)系ガラス膜との組み合わせからなる石英系光導波路技術は着実な進展を示し、従来のバルク型やファイバ型と競合し得る小型光スプリッタなどの平面導波型光回路を提供し得るまでに至っている⁽³⁾。さらには、光周波数多重機能など、従来の光回路形態では実現困難な高度な光回路機能をも生み出している。そして、平面基板上の低損失光導波路を伝搬する光波の位相や干渉を巧みに制御し、光の波としての性質を有効に引き出すプレーナ光波回路(PLC：

図1 光回路の形態

Planar Lightwave Circuit) 技術として、NTT 研究所を中心に体系化が進められている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

本稿では、まず石英系光導波路の製法と基本特性を概説し、次いで各種の光回路構成例に触れ、将来の光通信システムを支えるキー部品技術として期待される石英系 PLC 技術の紹介とする。

2. 石英系光導波路

プレーナ光波回路を構成する光導波路候補としては、必ずしも石英系ガラスに限らず、多成分ガラスやポリマー材料なども考えられるが、現在のところ Si 基板と石英系光導波路の組み合わせが最も進んでいる。これは、Si と SiO_2 とが多くの優れた物理的・化学的特質をもつことに加えて、大面積のシリコンウェーハを基板として容易に入手できること、石英系光導波路は伝送路である光ファイバと同一の屈折率値をもち、ファイバとの整合性に優れていることなどに由来する。

2.1 基本構造

Si 基板上に石英系光導波路を作製する多くの方法が提案されている。なかでも火炎堆積法(FHD: Flame Hydrolysis Deposition)によるガラス膜形成と反応性イオンエッチング(RIE: Reactive Ion Etching)によるガラス膜微細加工との組み合わせ工程は、光ファイバとの整合性に優れた低損失光導波路を実現できる利点がある⁽³⁾。

図2にFHD-RIE法で形成した石英系光導波路の

Tutorial Series: Photonic Devices.

II. Planar Lightwave Circuits.

By Masao Kawachi (NTT Opto-electronics Labs. Tokai, Ibaraki)

キーワード：光導波路、光集積、光回路、石英、光ネットワーク

図 2 石英系光導波路断面

表 1 石英系光導波路の基本特性

タイプ	比屈折率 差 Δ (%)	コア寸法 (μm)	伝搬損失 (dB/cm)	ファイバ 接続損 (dB/点)*	許容曲げ 半径 (mm)
a) 低 Δ 路	0.25	8×8	0.01	0.1	25
b) 高 Δ 路	0.75	6×6	0.02	0.5	5
c) 超高 Δ 路	1.5~2.0	4×4~5×5	0.1	2~2.5	1~2

*通常の 1.3 μm 零分散単一モード光ファイバとの接続損失(屈折率整合剤使用時)

基本構造を示した。Si 基板上に形成された厚さ 50 μm 程度の SiO_2 ガラスクラッド層の中心に周囲よりも屈折率値がわずかに大きい $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ ガラスコア部(正方形)が埋め込まれている。コア部の寸法は、単一モード光ファイバのコア直径に整合するよう 5~10 μm 程度に設計されており、コア・クラッド間の比屈折率差 Δ は 0.2~2% 程度である。Si 基板上の光導波路パターンをいろいろ工夫することによりさまざまな光回路を実現することができる。

現在、光回路の形状や光ファイバとの接続損失を考慮して、表 1 に示すように 3 種類の光導波路(低 Δ 路, 高 Δ 路, 超高 Δ 路)を作り分けている⁽⁶⁾。導波路の光伝搬損失は、パターン形状にも依存するが、直線部では 0.1~0.01 dB/cm のレベルであり、平面基板上の光導波路としては最も低損失な部類に属する。表 1 には通常の 1.3 μm 零分散単一モード光ファイバとの接続損を示したが、低 Δ 路では、最適光軸合わせ条件下では 0.1 dB/点以下が可能である。 Δ が大きくなるにつれて通常の単一モード光ファイバとの接続損は増すが、許容曲げ半径は小さくなり、高密度の光回路配置が可能となる。なお、最近では、高 Δ あるいは超高 Δ 導波路の端部を局所的に高温に加熱し、コア部のドーパントを拡散させることにより実効的なコア径を広げ、ファイバ接続損を低減する方法も提案されている⁽⁷⁾。

実用上、光導波路端に光ファイバの光軸をいかに合わせ固定するかが重大な関心事であり、光ファイバ

図 3 石英系光導波路の位相・偏波制御

レイ (1~32 心) を紫外線硬化接着剤で導波路端に固定する方法⁽⁸⁾、ファイバレイと光回路基板とを収容した金属枠同志を YAG レーザ溶接する方法⁽⁹⁾、光回路基板上にファイバ案内用のガイド溝をエッチング技術により直接加工するガイド溝法⁽¹⁰⁾、などが試みられている。

2.2 位相・複屈折制御

光回路の種類によっては、光路長を 100 分の 1 波長程度の精度で微調節する必要がある、このような場合には、[図 3(a)]に示すように、導波路上に薄膜ヒータを設けた熱光学 (TO: Thermo-Optic) 位相シフトが工夫されている⁽³⁾。薄膜ヒータにより光導波路コア部の温度を局部的に上昇 ($\Delta T \sim 10^\circ\text{C}$) させ、石英系ガラスの屈折率温度依存性 ($dn/dT \sim 10^{-5}/^\circ\text{C}$) を利用して光路長(位相)の微調を可能にするものである。熱伝導性に優れる Si 基板は、薄膜ヒータのヒートシンクとして働く。

また、石英系光導波路が Si 基板から受ける圧縮応力による複屈折性(基板面に垂直な偏光と水平な偏光との間でわずかに屈折率が異なる現象)を補償あるいは強調するために、図 3(b)に示すように、応力解放溝や応力付与膜(通常、 $a\text{-Si}$ 膜)を光導波路に沿って形成する複屈折制御技術が開発されている⁽³⁾。

これらの位相・複屈折制御技術は、PLC メニューに多様性を与える上で重要な役割を果たしている。

3. 光波回路構成例

正方形の明解なコア形状からなる石英系光導波路は、理論設計の好対象になっている。図 4 には PLC 設計風景を示した。ビーム伝搬法 (BPM: Beam Propagation Method) による波動解析や有限要素法 (FEM: Finite Element Method) などによる電界分布/応力分布解析などが駆使される。大規模な光回路を設計する際には、基本的な回路パターンやユニットを CAD (コンピュータ支援設計) 手法で連結していく。

以下、代表的な PLC 構成例について紹介する。

図4 プレーナ光波回路設計風景

図5 光分岐回路

3.1 光分岐回路

最も基本的な光回路は、図5に示すように、Y分岐素子や方向性結合器、それらを多段に連結した1×Nスプリッタ、中央部に光波を放射するスラブ導波路を配したN×Nスターカップラ、などの光分岐回路である。

一見単純なY分岐素子[図5(a)]においても、光の波を低損失に分けるには分岐部の微細構造などに工夫が必要である。方向性結合器[図5(b)]は、2本の光導波路の一部を数 μm の間隔にまで近接させて光導波路間の光結合を生じさせるものである。結合部の間隔や結合長の設計により0～100%の結合率とその波長依存性を選ぶことができる。方向性結合器は、単独で利用されるのみならず、より複雑な光回路を構成する重要光回路要素となっている。

Y分岐素子（あるいは方向性結合器）を多段に連結した1×Nスプリッタ[図5(c)]は、光加入者系をはじめとする多くの光応用分野での需要が見込まれている。典型的な1×Nスプリッタのチップサイズは、 $N=8$ の場合で25mm×5mm程度であり、入出力端の光導波路ピッチは、入出力用光ファイバアレイに合わせて通常250 μm に設定されている。1×8スプリッタの挿入損失は、光ファイバ接続損失を含めて10dB±0.5dB程度である。

図6 8×8スターカップラのBPMシミュレーション

中央部にスラブ導波路を配置した光放射型のN×Nスターカップラ[図5(d)]はPLCならではの集積型カップラ構成として最近注目されている。N本の入力信号を混ぜてN本の出力ポートに均等に分配するためには、スラブ導波路近傍の光導波路アレイ間の光結合量の調節などがポイントである。図6には、8×8スターカップラのBPMシミュレーションの様子を示した⁽¹¹⁾。周辺ポートからの光入力に対しても中央部と同等の光結合条件を保証するためにダミー導波路を配置している。シミュレーション結果を基に、64×64、114×144などの大規模スターカップラも実現されている⁽⁹⁾。同等のカップラ機能をファイバ型光回路形態で実現しようとすると数百個もの2×2光ファイバカップラを複雑に連結する必要がある、PLC技術の威力が発揮されている好例である。

3.2 光干渉計回路

分岐した光信号を再び合流させ、光波の相互干渉を引き起こすことにより、さらに多彩な光回路機能を実現することができる。その代表例が2個の方向性を2本の光導波路で連結したマッハツェンダ(MZ)光干渉計回路群(図7)である。

図7において、2個の方向性結合器を連結する2本の光導波路の光路長差 ΔL が零の場合には、薄膜ヒータ(熱光学位相シフタ)を具備したMZ光干渉計は2×2光スイッチとして機能する⁽¹²⁾。薄膜ヒータへの供給電力が零の場合、MZ光干渉計に入力する光信号は干渉計をクロス状態(100%結合状態)で通過する。いずれか一方の薄膜ヒータに π の位相差(1/2波長の光路長差)に相当する電力を供給すると、熱光学効果による干渉計アームのアンバランスのため光路はバー状態に切り替わる。スイッチングに必要な電力は0.5W程度であり、応答時間は約1msである。この熱光学スイッチ(TOSW: Thermo-Optic Switch)は偏波依存性がなく、しかも周囲温度の変動にも強い実用的な導波路スイッチとして期待されている。機械

図7 マッハツェンダ光干渉計回路の諸機能

的可動部分のない単純な構造は集積化にも適している。

光路長差 $\Delta L \sim 0.6 \mu\text{m}$ の MZ 光干渉計は波長無依存カップラ (WINC: Wavelength INsensitive Coupler) としての動作が可能である。WINC の基本アイデアは、2 個の方向性結合器の間に位相をずらすファクタ (微小光路長差 $\Delta L \sim 0.6 \mu\text{m}$) を導入して、方向性結合器の波長依存性をキャンセルしようとするにある⁽¹³⁾。例えば波長域 $1.25 \sim 1.65 \mu\text{m}$ において $20 \pm 1.9\%$ の平坦結合率が得られており、光信号を波長に依らず一定割合で分岐する光タップとしての応用が期待されている。WINC の基板サイズは、4 素子内蔵型で $20 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ であり、過剰損失 0.5 dB 以下が達成されている。最近、前述の TOSW を構成する 2 個の方向性結合器を 50% WINC で置き換えた波長無依存スイッチ (WINS: Wavelength-INsensitive Switch) も提案されている⁽¹⁴⁾。

ΔL が数 μm から数 $10 \mu\text{m}$ の MZ 光干渉計は、例えば波長 $1.3 \mu\text{m}/1.55 \mu\text{m}$ を扱う波長多重 (WDM: Wavelength-Division Multiplexing) フィルタとしての応用がある⁽¹⁵⁾。さらに大きな ΔL ($\sim 1 \text{ cm}$) の光干渉計は、 10 GHz 程度の光周波数間隔 (波長間隔に換算すると 0.08 nm) を扱う光周波数多重 (FDM: Frequency-Division Multiplexing) フィルタとしての用途がある。光周波数間隔 Δf は ΔL と次式の関係にある。

$$\Delta f = c / (2n \cdot \Delta L)$$

ここで、 c は光速であり、 n は光導波路の実効屈折率である。光 FDM フィルタの光周波数チューニングは導波路アーム上に設けられた熱光学位相シフトにより実行可能である⁽¹⁶⁾。

光 FDM 領域では、応力付与膜 [図 3(b)] 参照により長い導波路アームと短い導波路アームの応力複屈折

図8 アレイ導波路格子型合分波器

バランスを図ることにより偏波無依存動作が達成される。 ΔL の小さい TOSW, WINC および WDM 領域では複屈折調整は通常不要である。

光信号を分け、適当な遅延を与えた後に再び干渉させる図 7 の MZ 光干渉計回路群は、光波回路機能創出の原点であり、上記以外にも偏波ビームスプリッタ機能などが提案されている。

最近注目されている別の光干渉計構成が、図 8 のアレイ導波路格子型合分波器である。この合分波器は、入力/出力導波路、一对の扇形スラブ導波路、光路長差 ΔL (数 $10 \mu\text{m} \sim 1 \text{ mm}$) の多数のチャネル導波路アレイから構成されている⁽¹⁷⁾。アレイ導波路格子型合分波器は 2 個の $N \times N$ スターカップラ [図 5(d)] を間隔 ΔL の遅延線で連結した多光束干渉計と見なすこともできる⁽¹⁸⁾。入力導波路に導かれた信号光は、扇形スラブ導波路で放射された導波路アレイへと分配される。アレイ導波路を通過した信号光は、出力導波路端に焦点を結ぶが、長さが ΔL ずつ異なる数 $10 \sim$ 数 100 本もの導波路に分かれて伝搬する信号光の多光束干渉効果の結果、波長に応じて異なる位置に焦点を結ぶ。これまでに光周波数間隔 10 GHz や 100 GHz で 10 チャネル以上の一括合分波機能が確認されている。アレイ導波路格子の偏波無依存化を目的として、応力付与膜装荷法に加えて、アレイ導波路中央部に $1/2$ 波長板を挿入する方法も提案されている⁽¹⁹⁾。

精密な光路長差をもつ多数本の導波路からなるアレイ導波路格子は、PLC 型ならでは $N \times N$ 合分波器構成として今後の発展が期待されている。

3.3 大規模 PLC

PLC 技術の最大の特長は、多数の光回路ユニットを同一板上に並列あるいは縦列に一括集積し、大規模

図9 トランスバーサルフィルタの論理構成

な光波回路を構成できる点にある。3~4 インチ Si ウェーハ上に作製した大規模 PLC 例を示す。

(1) 128 チャネル光周波数選択フィルタ 7 段の非対称形 MZ 光干渉計ユニット (1 段目は $\Delta L = 10\text{mm}$, 2 段目は 5mm , と ΔL が $1/2$ ずつになり, 7 段目は 0.16mm に設定) を Si 基板上で連結している。最大導波路長は 25cm である。この構成により 10GHz 間隔に多重化されたチャネルの信号光の中から任意の 1 チャネルを選択できる⁽²⁰⁾。

(2) 8×8 熱光学マトリックススイッチ 2×2 光スイッチユニット (薄膜ヒータ付きの対称形 MZ 光干渉計) を $8 \times 8 = 64$ 個, Si 基板上の 35cm 長の導波路アレイに沿って配置している。この構成により 8×8 のマトリックススイッチ動作が可能であり, 任意の二つのポートを他のポートに影響を与えることなく入れ換える, いわゆる厳密ノンブロック動作が可能である⁽²¹⁾。

(3) 16 タップ光トランスバーサルフィルタ

図9に示すように, 16 個の変分スプリッタ, 16 個の光遅延線 (単位遅延距離は 10mm であり遅延時間 50ps に相当), 16 個の熱光学位相シフタ, 1 個の 16×1 光結合器を集積している (実際の導波路レイアウトの一部は図4の背景に示されている)。最大導波路長は約 60cm である。このフィルタは, 分岐した光信号の位相情報を保ちつつ合流するので複素数を含む任意のタップ係数の表現が可能であり, ペースバンド周波数領域や光周波数領域の各種の光信号処理応用が試みられている⁽²²⁾。

このような大規模光回路を PLC 手法を用いずして従来のバルク型やファイバ型の光回路形態で実現することは, 光路長差設定精度や回路安定性の点でほとんど不可能である。

4. あとがき

以上, 石英系プレーナ光波回路 (PLC) の最新動向について紹介した。いずれの回路例も PLC ならではの特長 (小形, 安定, 一括集積性など) が活かされている。石英系光導波路と Si 基板のシンプルな組み合わせは, 所望の PLC 機能を精度良く設計し, 実現する上で最適である。シリコン基板上の低損失石英系光導波路を基本として蓄積されつつある光波回路現象へのより深い洞察は, 石英系以外の光導波路や光集積回路 (例えばポリマーや化合物半導体材料) の研究開発にも役立つと期待される。

本稿では触れられなかったが, 受発光素子などとのハイブリッド光集積の試みや, 石英系光導波路そのものに光ファイバ増幅器と同様の希土類元素を添加する能動化の試みも活発である^{(23)~(25)}。

これまでに実現された石英系 PLC を用いて各種の光システム実験が試みられている。代表例としては, まず, $1 \times N$ や $2 \times N$ スプリッタ (50% WINC 1 個と $1 \times N/2$ スプリッタ 2 個を集積) の光加入系システムなどへの適用をあげることができる。

また最近, 電子計算機や電子交換機分野への光インターコネクション技術の導入が検討されているが, 光ファイバ配線途上に 8×8 熱光学マトリックススイッチを配し, 柔軟な回線切り替えを行う試みが報告されている⁽²⁶⁾。

最近の多チャネル光周波数多重伝送システム実験にも, 本稿で紹介した 128 チャネル光周波数選択フィルタなどが活用されている⁽²⁷⁾。またアレイ導波路格子型合分波器は, 波長可変 DFB レーザとの組み合わせにより将来の光周波数アドレスネットワーク&スイッチングシステムを構成する最有力候補として注目される。

システム要求に応じてガラスネットワークを自在にシリコン基板上に形成できる石英系 PLC 技術は, 導波路プロセス, 回路設計, デバイス実装技術の一層の向上に支えられて, Fiber-to-the-Home (FTTH) 用の低価格光回路部品市場から, 次世代の光波ネットワークや光交換の実現に向けたハイエンド光回路分野まで, 幅広い応用を見出すと期待される⁽²⁸⁾。

(平成 5 年 5 月 18 日受付)

文 献

- (1) 光通信システムと光部品全般については,
P. E. Green, Jr.: "Fiber Optic Networks" (1993) Prentice Hall
- (2) 光導波路, 光集積回路全般については,

- 西原・春名・西原：「光集積回路」(1985)オーム社
- (3) M. Kawachi: "Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optic components", *Optical and Quantum Electronics*, **22**, 391~416 (1990)
 - (4) 河内：「プレーナ光波回路技術」, *NTT R & D*, **40**, 199~204 (平3)
 - (5) 河内・中原：「プレーナ光波回路の研究」, *NTT R & D*, **41**, 307~316 (平4)
 - (6) 鈴木・柳沢・日比野・織田：「高△石英系光導波路を用いた高密度集積型 PLC」, 1993 年電子情報通信学会春季大会, SC-2-3
 - (7) M. Yanagisawa, Y. Yamada, & M. Kobayashi: "Mode-field converting silica-based waveguide by local heat treatment", *Electron. Lett.*, **28**, 1958~1959 (1992)
 - (8) Y. Yamada, F. Hanafusa, T. Kitoh, & T. Maruno: "Low-loss and stable fiber-to waveguide connection utilizing UV curable adhesive", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **4**, 906~908 (1992)
 - (9) K. Kato, K. Okamoto, H. Okazaki, Y. Ohmori, & I. Nishi: "Packaging of large scale integrated $N \times N$ star couplers", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **4**, 348~351 (1993)
 - (10) S. Day, R. Bellerby, G. Cannell, & M. Grant: "Silicon-based fibre pigtailed 1×16 and 2×16 power splitters", *ECOC'92*, WeP 2.15
 - (11) K. Okamoto, H. Takahashi, S. Suzuki, A. Sugita, & Y. Ohmori: "Design and fabrication of integrated-optic 8×8 star coupler", *Electron. Lett.*, **27**, 774~775 (1991)
 - (12) 杉田・河内：「石英系光スイッチ」, 光学, **21**, 516~520 (1992)
 - (13) K. Jingui, N. Takato, A. Sugita, & M. Kawachi: "Mach-Zehnder interferometer type optical waveguide coupler with wavelength-flattened coupling ratio", *Electron. Lett.*, **26**, 1326~1327 (1990)
 - (14) T. Kitoh, N. Takato, K. Jingui, M. Yasu, & M. Kawachi: "Novel broad-band optical switch using silica-based planar lightwave circuit", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **4**, 735~737 (1992)
 - (15) 小湊・河内・高戸：「マッハツェンダー干渉計で構成した導波型光 WDM 回路」, 信学論誌 C-I, **J73-C-I**, 354~359 (平2)
 - (16) N. Takato, T. Kominato, A. Sugita, K. Jingui, H. Toba, & M. Kawachi: "Silica-based integrated optic Mach-Zehnder multiplexer family with channel spacing of 0.01-250nm", *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, **8**, 1120~1127 (1990)
 - (17) H. Takahashi, I. Nishi, & Y. Hibino: "10GHz spacing optical frequency division multiplexer based on arrayed-waveguide grating", *Electron. Lett.*, **28**, 380~381 (1992)
 - (18) C. Dragone, C. A. Edwards and R. C. Kistler: "Integrated $N \times N$ multiplexer on silicon", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **3**, 896~899 (1991)
 - (19) H. Takahashi, Y. Hibino, & I. Nishi: "Polarization-insensitive arrayed-waveguide grating wavelength multiplexer on silicon", *Opt. Lett.*, **17**, 499~501 (1992)
 - (20) N. Takato, A. Sugita, K. Onose, H. Okazaki, M. Okuno, M. Kawachi, & K. Oda: "128-channel polarization-insensitive frequency-selection-switch using high-silica waveguides on Si", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **2**, 441~443 (1990)
 - (21) M. Okuno, K. Kato, Y. Ohmori, & T. Matsunaga: "Improved 8×8 integrated optic matrix switch using silica-based planar lightwave circuit", *OEC'92*, 17A4-2
 - (22) 笹山：「光導波路を用いた全光型信号処理フィルタ」, 光学, **21**, 400~406 (平4)
 - (23) C. H. Henry, G. E. Blonger, & R. F. Kazarinov: "Glass waveguides on silicon for hybrid optical packaging", *J. Lightwave Technol.*, **LT-7**, 1530~1539 (1989)
 - (24) Y. Yamada, H. Terui, Y. Ohmori, M. Yamada, A. Himeno, & M. Kobayashi: "Hybrid-integrated 4×4 optical gate matrix switch using silica-based optical waveguides and LD array chips", *J. Lightwave Technol.*, **10**, 383~390 (1992)
 - (25) T. Kitagawa, K. Hattori, K. Shuto, M. Yasu, M. Kobayashi, & M. Horiguchi: "Amplification in Erbium-doped silica-based planar lightwave circuits", *Electron. Lett.*, **28**, 1818~1819 (1992)
 - (26) 姫野・山口・奥野・松永：「導波路型光スイッチを用いた空間分割光交換システム」*NTT R&D*, **41**, 937~946 (平4)
 - (27) H. Toba, K. Oda, K. Nakanishi, N. Shibata, K. Nosu, N. Takato, & M. Fukuda: "A 100-channel optical FDM transmission on/distribution at 622Mb/s over 50km", *J. Lightwave Technol.*, **8**, 1396~1401 (1990)
 - (28) T. Ikegami & M. Kawachi: "Passive paths for networks", *Physics World*, p.50~54 (1991-9)

河内 正夫

昭和24年3月17日生。46年東京工業大学工学部電子物理工学科卒業。48年同大学院修士課程電子物理学専攻修了。53年工学博士（東京工業大学）。48年電信電話公社茨城電気通信研究所入社。現在、NTT光エレクトロニクス研究所主幹研究員。その間、液晶表示、光ファイバ、導波型集積光部品の研究開発に従事。57~58年カナダ通信省研究所交換研究員。電子情報通信学会、応用物理学会、IEEE 会員。59年電子通信学会論文賞、平成4年同学会業績賞、小林記念特別賞受賞。