



## 光集積フーリエ演算器

栖原 敏 明

大阪大学工学部電子工学科 〒565 吹田市山田丘 2-1

### 1. ま え が き

空間光変調器とレンズを用いた回折光学系を組み合わせ、アナログ電気信号のスペクトル分析や相関などのフーリエ変換型演算を行なう技術は従来からよく知られた光情報処理技術の一つであるが、近年、これらの光演算装置を光集積回路としてデバイス化する研究が国内外で活発に行なわれている。このような信号演算は電子回路でも可能であるが、光デバイスではその並列処理能力により高速・実時間の処理が可能であり、集積化により超小型のデバイスとすることができる。現在は主としてレーザ信号処理のため開発が進められているが、将来は電波望遠鏡、レーザ計測、リモートセンシング、通信など広範な信号処理への応用が期待される。本小文ではこの分野の研究開発の現状を光集積スペクトルアナライザを中心に紹介する。

### 2. 光集積スペクトルアナライザ

光集積スペクトルアナライザ (IOSA) は図1のように光導波路上に表面弾性波 (SAW) を用いた広帯域音響光学ブラッグセル (空間変調器) と、導波光のコリメート用、フーリエ変換用の導波路レンズを集積化することにより構成される。ブラッグセルでの導波光回折角は SAW トランスデューサに加える RF 信号の周波数に比例し、回折効率は小信号領域で RF パワーにほぼ比例するので、その出力光をレンズでフーリエ変換すれば焦点面上に入力信号の周波数パワースペクトルに比例する光強度分布が得られ、これを光電変換することにより実時間のスペクトル信号が得られる。IOSA の周波数分解能は導波光の回折限界スポット幅と光検出器画素間隔で決まる。また周波数帯域はブラッグセルの帯域で、応答速度は検出器の応答で決まる。さらにダイナミックレンジは導波光散乱や検出器のノイズレベル等で制限される。

広帯域 IOSA の導波路材料としては、優れた高周波 SAW 特性をもつ  $\text{LiNbO}_3$  が最も適しており、理論的には帯域 1 GHz、分解能 1 MHz、応答速度  $1 \mu\text{s}$  程度の

性能が実現可能である<sup>1)</sup>。このデバイスのキーコンポーネントは導波路レンズであり、種々の導波路レンズを用いたデバイスが作製されている。図1のようにジオデシックレンズを採用したタイプはレーザダイオード光源、光検出器を含めてハイブリッド集積化されたデバイスが多く、多くのグループにより試作されその動作が示されている<sup>1,2)</sup>。デバイス長は 45~70 mm であり、ブラッグセルには広帯域化のため多段傾斜アレイトランスデューサや傾斜指チャープトランスデューサが採用されている。実験で得られている性能は、帯域 200~500 MHz、分解能 4~8 MHz、ダイナミックレンジ 20 dB 以上、応答速度  $2 \mu\text{s}$  程度のもが多いが、分解能 2.7 MHz、ダイナミックレンジ 40 dB 以上の値も報告されている。このように図1のタイプの IOSA はほぼ完成に近いが、ジオデシックレンズは超精密機械加工が必要なため作製が困難な欠点があり、この問題点を避けるため回折型レンズの利用も検討されている。図2は反射型チャープグレーティングレンズ (CGL) を用いた IOSA を示す<sup>3)</sup>。CGL は電子ビームリソグラフィにより容易に作製可能であり、また反射型であるため光軸が折返し型となるのでデバイス長が短縮できる特長がある。電子ビーム直接描画で作製した傾斜指チャープトランスデューサをもつデバイス長 15 mm の IOSA で 4 MHz の分解能と 1 GHz の帯域が得られている。またレンズ系の集積化の困難点を改善する他の方法として、半球面導波路 (ジオデシックレンズそれ自体と考えられる) 上の中央にブラッグセルを集積化し、端周上の対向する位置で光入出力を行なう方法も提案されている<sup>4)</sup>。

IOSA の基板として Si を用いれば光検出器を他の素子とともにモノリシック集積化することが可能となる。図3は  $\text{As}_2\text{S}_3/\text{SiO}_2/\text{Si}$  導波路にブラッグセルとフレネルレンズを集積化した IOSA であり<sup>5)</sup>、検出器以外の素子を集積化したプロトタイプデバイスが試作され、その動作が確認されている。また  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$  導波路を用いた同様のデバイスも試作されているが<sup>6)</sup>、これらの準モノリシック IOSA ではこれまでのところ応用上

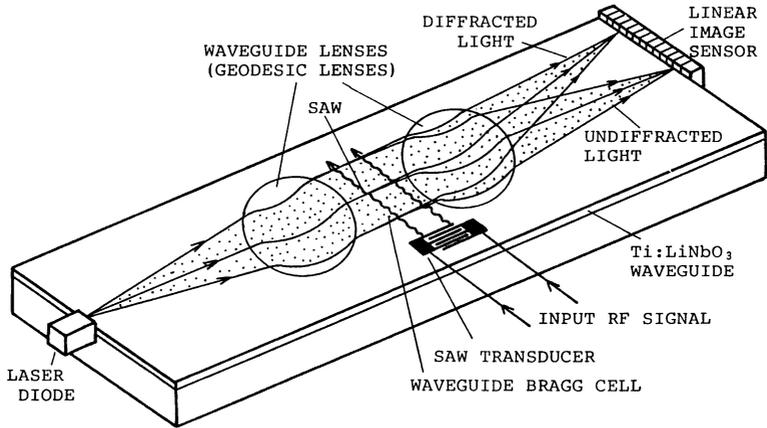


図 1 ジオデシックレンズを用いた光集積スペクトルアナライザ

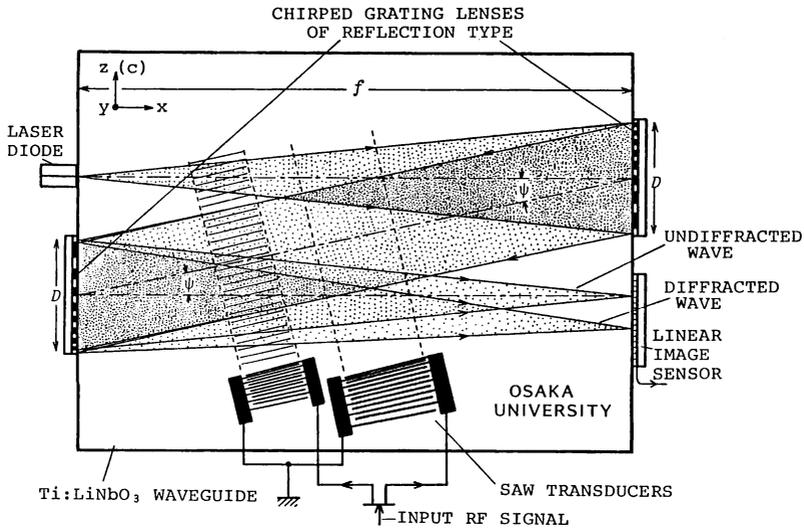


図 2 グレーティングレンズを用いた広帯域光集積スペクトルアナライザ

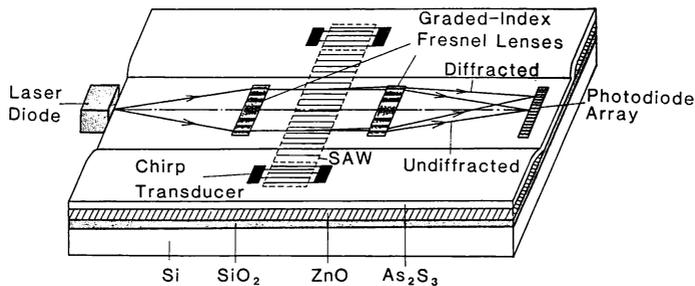


図 3 フレネルレンズを用いた準モノリシック光集積スペクトルアナライザ

十分な性能は得られておらず、分解能の改善、広帯域化限界の究明、全集積化などが今後の課題として残されている。

以上では音響光学型の IOSA について述べたが、電

気光学効果を用いた IOSA の構成も提案されている<sup>7)</sup>。また最近のトピックスとして、1~20 GHz のマイクロ波信号を直接入力できる IOSA への応用を目的とした、磁性体薄膜光導波路における静磁表面波による光回折の

検討も始められている<sup>9)</sup>.

### 3. コンポルバコリレータ

IOSA の構成を拡張することにより二つの RF 信号間のコンポリューションやコリレーション (相関) の演算を行なうデバイスが実現できる<sup>9)</sup>. コリレータは2信号を2組のブラッグセルに入力する空間積分型と, 光源強度変調と SAW 変調として入力する時間積分型に分類されるが, 信号  $SN$  比改善能力の指標となる時間・帯域積の点で後者が有利である. IOSA に比べレンズ数が増加するなど構成が複雑になるため実際に集積化デバイスが作製された例は少ないが<sup>10)</sup>, 今後 IOSA 作製技術の確立に伴ってこれらのデバイスの研究も進展すると思われる.

### 4. む す び

以上で概観したように光集積フーリエ演算器は近年急速な技術発展を見せており, IOSA は最も完成に近い光集積回路の例であると考えられている. またここ1~2年の国内でのこの分野の研究の活発化も注目される. 今後, デバイス特性の改善と新たな応用の開拓が望まれる. またこの種のデバイスは将来の光計算機の一構成要

素となる可能性をもっており, その技術が光計算機の開発研究の一環としてさらに発展することが期待される.

### 文 献

- 1) M. K. Barnoski, B. U. Chen, T. R. Joseph, J. Y. Lee and O. G. Ramer: IEEE Trans. Circuits Syst., **CAS-26** (1979) 1113.
- 2) D. Mergerian, E. C. Malarkey, R. P. Partienus, J. C. Bradley, G. E. Marx, L. D. Hutcheson and A. L. Kellner: Appl. Opt., **19** (1980) 3033.
- 3) T. Suhara, H. Nishihara and J. Koyama: IEEE J. Quantum Electron., **QE-18** (1982) 1057.
- 4) Q. Li, C. S. Tsai, S. Sottini and C. C. Lee: *Tech. Digest 7-th Topical Meeting on Integrated and Guided-Wave Optics*, TuB2 (1984).
- 5) T. Suhara, T. Shiono, H. Nishihara and J. Koyama: J. Lightwave Tech., **LT-1** (1983) 624.
- 6) S. Valette, J. Lizet, P. Mottier, J. P. Jadot, S. Renard, A. Fournier, A. M. Grouillet, J. Gidon and H. Denis: Electron. Lett., **19** (1983) 883.
- 7) G. Arvidsson and L. Thylén: Appl. Opt., **21** (1982) 797.
- 8) C. S. Tsai and D. Young: *Conf. Digest 13-th Congress Int. Commun. Optics*, B4-10 (1984).
- 9) C. S. Tsai: IEEE J. Circuits Syst., **CAS-26** (1979) 1072.
- 10) C. M. Verber, R. P. Kenan and J. R. Busch: Appl. Opt., **20** (1981) 1626.

(1984年10月3日受理)