

デジタルマイクロミラーデバイスを用いた波長選択スイッチ

光機器・コンポーネント事業部 山口 太一¹・山崎 成史²
 光電子技術研究所 中谷 晋³
 光ケーブルシステム開発センター 石川 隆朗⁴
 N i s t i c a I n c . Jefferson L. Wagener⁵・Thomas A. Strasser⁶

Wavelength Selective Switch (WSS) by Digital Micromirror Device

T. Yamaguchi, S. Yamasaki, S. Nakaya, T. Ishikawa, J. L. Wagener, and T. A. Strasser

新世代の通信インフラストラクチャは、光・電気変換を使わずに、光信号の構造や伝送速度の違いを許容しながら、柔軟な運用を行うことを可能としている。われわれは、このようなネットワークを実現するための重要なデバイスである波長選択スイッチを、デジタルマイクロミラーデバイス（DMD）応用することで製品化した。本稿では、開発のコンセプトと、DMDによりもたらされる特長を解説する。

New-generation network infrastructure permitting any transmission data format and bit rate has been achieved for flexible network operation without optical-electrical conversion. We have developed a wavelength selective switch, which is the key device for agile networks, by using a digital micromirror device. We describe the developmental concepts and mention the advantages offered by highly reliable digital micromirror device technology.

1. ま え が き

波長多重伝送技術は、2点を結ぶポイント・ツー・ポイント方式に始まり、スイッチを備えたノードを環状に配置したリングネットワークへ発展した。現在のノードでは電気再生中継器を介して手動で接続が行われているが、光信号のまま起点から終点までの全区間の経路を遠隔操作で設定することが可能となれば（図1）、迅速なサービス提供、オペレーションコスト削減、障害への即時対応など、大きな効果が期待できる。¹⁾

2. 波長選択スイッチの役割

波長選択スイッチ（WSS）は、ROADM装置の中で、光増幅器と共に重要な役割を持ち、波長多重化されて伝送されてくる光信号を受け、任意の波長を任意の経路に通過/分岐（挿入）させる役割を担う。²⁾

従来、この機能は波長分合波器、光スイッチ、可変光減衰器の組み合わせ等で実現されていた（図2）が、当社では、米国Nistica社と共同で、MEMSの一種

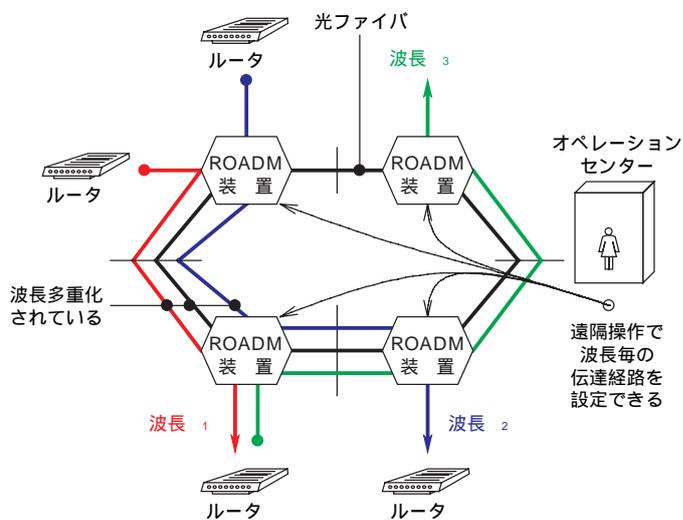


図1 ROADM 概念図
 Fig. 1. Overview of ROADM network.

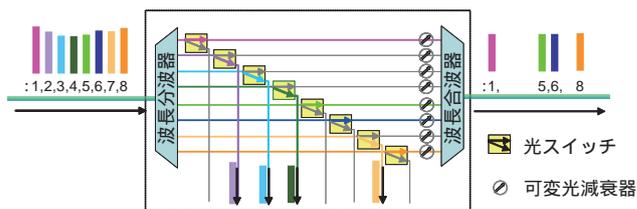


図2 従来技術例
 Fig. 2. Conventional ROADM technology.

1 光コンポーネント技術部 部長
 2 光機器製造技術部 グループ長
 3 応用電子技術研究所 主席研究員
 4 光機器開発部 係長
 5 Chief Innovation Officer (博士(工学))
 6 Chief Technology Officer (博士(工学))

略語・専門用語リスト		説明
略語・専門用語	正式表記	
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer	遠隔操作で再構成可能な、光信号の分岐 / 挿入 / 通過を行う多重化システムのこと。大容量リングネットワークで主流の技術
WSS	Wavelength Selective Switch	波長多重化されて伝送されてくる光信号を受け、任意の波長を任意の経路に通過 / 分岐 (挿入) させる装置
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems	シリコン基板等の上に、機械要素部品と電子回路を集積化したデバイス
DMD	Digital Micromirror Device	テキサス・インスツルメンツ社によって開発された、多数の微小鏡面 (マイクロミラー) を平面に配列した表示素子の一種

であるデジタルマイクロミラーデバイスを使い小型高性能で信頼性の高い、WSSモジュール (商品名 Full Fledge) を開発した (図3)。

3. デジタルマイクロミラーデバイス

WSSモジュールでは、通過 / 分岐 (挿入) を切り替える機能に加えて、波長毎に光強度を調節する機能も要求され、これらに対応するため、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を採用している。

DMDは、テキサス・インスツルメンツ社によって開

発された、多数の微小鏡面 (マイクロミラー) を平面に配列した表示素子の一種で、³⁾すでに各種プロジェクタ、テレビ、デジタルシネマ等の多数の機器で使用されている。

CMOS半導体上に独立して動くミラーが48万~200万個敷き詰められ、各マイクロミラーの鏡面は、鏡面下部に設けられた電極の駆動により、対角線を軸にして±12度傾斜させることができるようになっている。各マイクロミラーの状態は、この鏡面傾斜角度により「ON」と「OFF」の二つの状態で表すことができる (図4)。

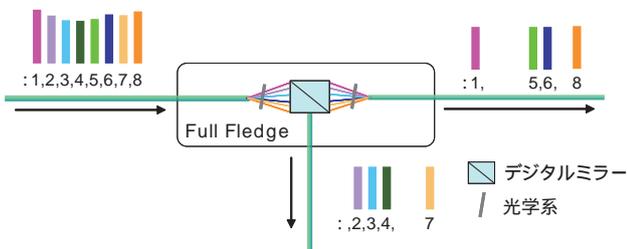


図3 WSS機能概念図
Fig. 3. Function of WSS.

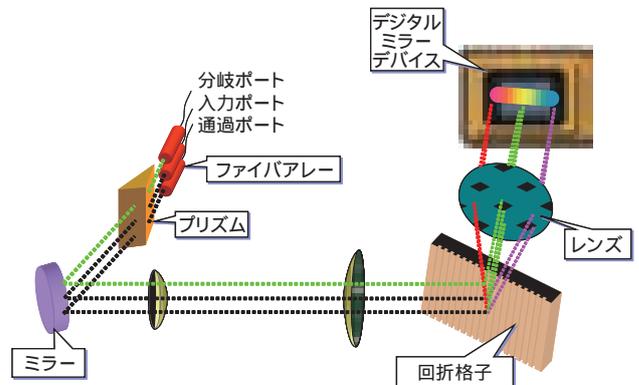


図5 WSSモジュールの構成
Fig. 5. Schematic diagram of WSS.

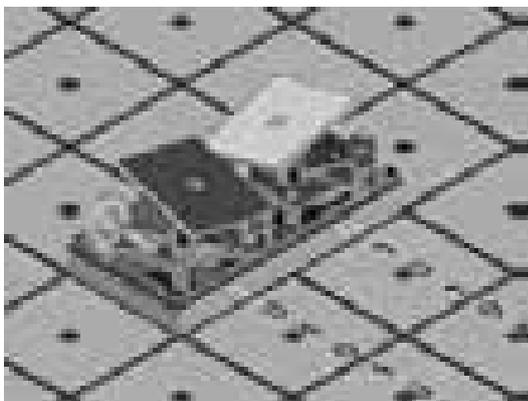


図4 DMD (個別画素)
Fig. 4. Digital micromirror device (Pixel).

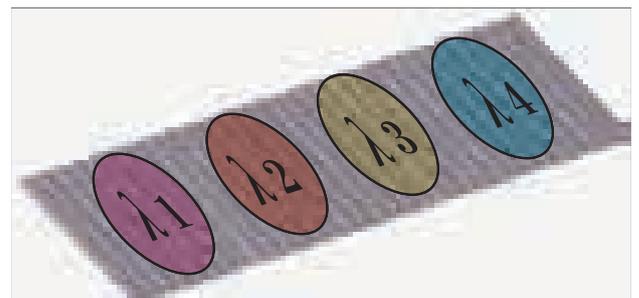


図6 マイクロミラー上の光ビーム
Fig. 6. Spectrum on the DMD.

たとえば、プロジェクタでの使用においては、この各ミラーを個別に駆動できる機能によって、ミラーが「ON」のときには内部光源からの光を外部(スクリーン)に向けて反射し、「OFF」のときには光を内部の吸収体に向けるようにすることで、表示画素ごとの光の投射の制御を実現している。⁴⁾

4. WSSモジュールの構成・動作

図5にWSSモジュールの構成を示す。入力ポートから出た光は、レンズ、ミラー、回折格子等で構成された光学系で分光され、DMD上に到達する。

DMD上では、波長毎に多数のマイクロミラーが光ビームを受け取る(図6)。

通過/分岐(挿入)を切り替える場合、目的の波長 λ_n を受けているマイクロミラーを一斉に「ON/OFF」させ、目的のポートへ光をルーティングする。

光強度を調整する場合は、目的の波長 λ_n を受けているミラーのうち、特定の割合を「OFF」とすることで、所望のアッテネーションを実現する(図7)。

5. 製品の特長

デジタル制御による安定性

- ・光結合、アッテネーションの安定

「ON/OFF」の2値により、マイクロミラーは目的のポートを正確に指向するため、光結合のドリフトは発生しない。アッテネーションの設定も多数あるピクセルの特定割合を「OFF」に固定する方法で実現しているため、きわめて安定している。

高速スイッチング

- ・DMDは、プロジェクタでのフルカラー動画表示に対応するポテンシャルを持っているため、WSS用途とし

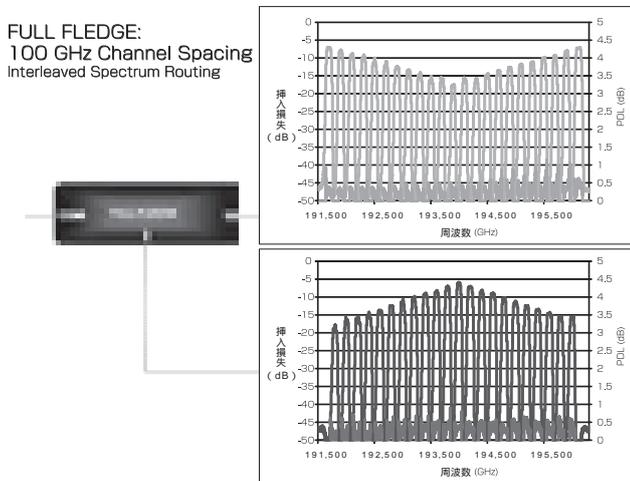


図7 ルーティング, アッテネーションの例
Fig. 7. Routing and attenuation.

ては非常に高速な、1 μ s レベルでのスイッチングが可能であり、オーバーシュートの発生もない(図8)。

マルチピクセルによるフレキシビリティ

- ・自由な波長プラン

50 GHz, 100 GHz, 200 GHz の混在が可能となっている(図9)。波長プランはソフトウェアで変更することができ、将来のネットワークの発展にも柔軟に対応することができる。

- ・温度依存性への対応

製品内部光学系を支える機構部品は精密に調整されているが、それでも温度の影響を受け、MEMS上での波長毎ビーム位置は温度依存性を持っている。通常の1枚ミラーのMEMSでは、ビーム移動によりミラーから一部光束が外れてしまうと対処不能となり、性能に影響を与える。

DMDでは、ビーム位置が変化する場合でも、あらかじめキャリブレーションを行うことで、ビーム移動に追従させた動作が可能である。

アッテネーションを行う場合は、上記方法に加えて、温度依存性の発生しないアッテネーションパターンをDMD上に構成することで対応できる場合もある(図10)。

高い信頼性

- ・市場での実績

DMDは、1996年の量産出荷開始以来、業界全体で

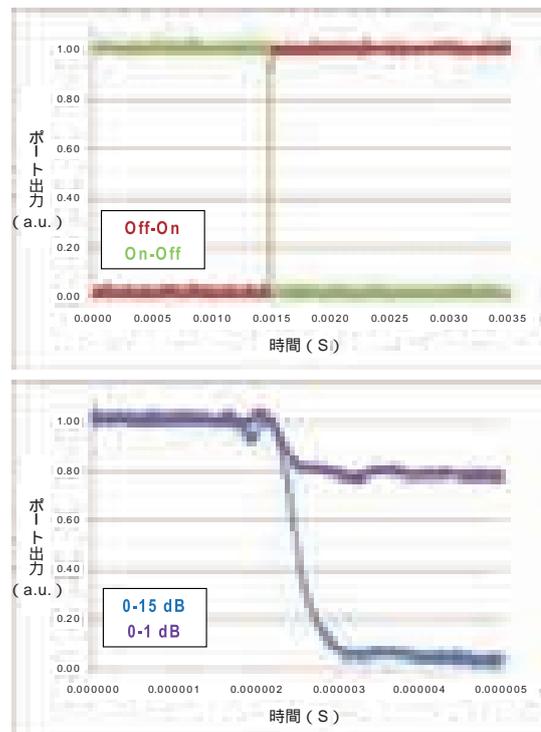


図8 スwitching特性
Fig. 8. Switching properties.

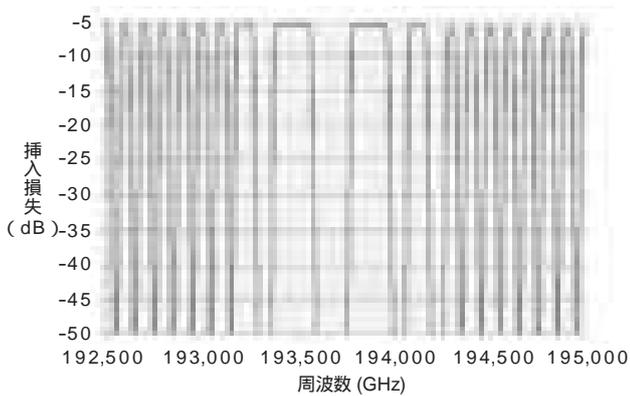


図9 自由なチャンネルプラン
Fig. 9. Flexible channel plan.

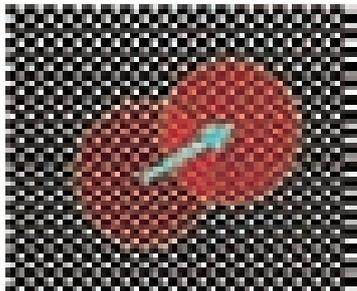


図10 温度依存性の無いアッテネーションパターンの例
Fig. 10. Temperature independent attenuation.

150 万個以上の使用実績のある安定したデバイスである。

・マルチピクセルによる冗長性確保

波長毎にシングルミラーを割り当てる場合は、ひとつの欠陥でそのチャンネルは使用不能になる。一方、マルチピクセル方式では若干のピクセルに動作不良があっても、チャンネル全体のパフォーマンスには、ほとんど影響を与えない。

6.むすび

新世代ネットワークを支えるWSSをMEMS技術で実現する一例として紹介した。

今後益々複雑化するネットワークを経済的に実現するための高性能デバイス開発を、今後も継続して実施していく。

参考文献

- 1) Y.Hibino, M.Tsubokawa, M.Jin'no, A.Takada Y.Miyamoto:「最新フォトニックネットワーク技術の概要」, NTT 技術ジャーナル 2007.10 pp.8-13
- 2) A.Takada, T.Takahashi, I.Shake:「フォトニックノード技術」, NTT 技術ジャーナル 2007.10 pp.26-29
- 3) L.J.Hornbeck: " Digital Light Processing™ and MEMS " : An Overview, Texas Instruments white paper - <http://dlp.com/tech/research.aspx>
- 4) L.J.Hornbeck; " Digital Light Processing™: A New MEMS-Based Display Technology " , Texas Instruments white paper - <http://dlp.com/tech/research.aspx>