

# Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides (BGPP-2001) 参加報告

長岡技術科学大学

藤原 巧

## Report on Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides (BGPP-2001)

Takumi Fujiwara

Nagaoka University of Technology

2001年7月4日から6日の3日間、「ガラスのブラッグ回折格子，光誘起現象，並びにポーリング」(以下BGPP会議と称する)に参加した。この会議は，米国光学会(OSA)主催の国際会議であり，今回は「光増幅器とその応用(Optical Amplifiers and Their Applications: OAA)」に関する国際会議と共同開催されたことにより，前回までの約2倍に相当する，総参加人数約570人，発表件数約160件を得て，北イタリアの保養地ストレーザで開催された。OAA関連を除く，BGPP会議単独では，約83件の一般発表(招待:11件，口頭:35件，ポスター:37件)と5件のポストデッドラインペーパー発表があり，論文採択率はそれぞれ，60%(一般)，40%(PDP)程度であった。

BGPP会議は，第1回が1997年に米国バージニア州ウィリアムスバーグで，第2回が

1999年に米国フロリダ州インディアンビーチで開催されており，今回の第3回は初めて米国を離れ，欧州域での開催となった。この会議の前身は，ガラス材料の光非線形性など，光学特性に関する基礎材料的な色彩の強い会議であったが，現在の会議名からも分かるように，BGPPと改称してからはガラス光ファイバ(光導波路)の高機能化に関するスコープが主題であり，フォトンクス分野の中でも成長著しい光情報通信関連分野への応用を目指して，材料・デバイス・システムと広く全体をカバーする主要かつ世界的な専門家会議として，今後さらに発展・拡大して行くことが予想される。

参考までに，会期中の運営委員会において，今回は2003年ころ，豪州・ハワイ地区等が開催候補地として挙げられた。余談になるが，この会議の過去の経緯からか，現在のところ会議委員会メンバーに日本の特に企業からの参画が少なく，OSA事務担当者によるとOSAが主催するフォトンクス関連の国際会議でも極めて稀な例である，らしい。この分野の研究開発のアクティビティーを見ても，また近い将来に産

業的に期待される分野としても、我が国の大学や企業等の貢献は、他のフォトリクス分野の場合と比肩するものであり、今後さらに多くの研究者のご協力を仰ぎたいと感じた。

ミラノから電車で一時間ほどの距離にあるストレーザは、マッジョーレ湖周辺の世界的に名高い保養地であり、イタリアだからということ以上に、実にゆったり・のんびりと時間が流れて行く。対岸の山々をらくに臨むことが出来る程度の大きさの湖はいつも静かで、点在するたくさん島々がまるで世界地図を構成しているように、忙しい日常や気ぜわしい世界からは孤立した独特のやわらかい雰囲気を与えてくれる。会場となった市の中心部に位置する国際会議場は、聴講者数に対してやや手狭な会場もあったが、市内どこからもアクセスよく概ね好評であった。

さて、BGPP 会議はその内容によって4つの大きな分野に分類される。その4つとは、1) ブラッグ・グレーティング関連、2) 応用(システムに近い)、3) 基礎及び材料、4) 光非線形関連である。以下、幾つかの発表論文の概要について紹介して行きたい。但し、これらの論文は筆者の興味と出席率(?)によって選択されたものであり、他に多くの優れた論文発表が行われたことをあらかじめお断りしておきたい。

先ず始めにファイバ・グレーティング及びその応用に関して述べる。大容量光ファイバ伝送において、今や WDM (波長分割多重) 伝送システムの完全制覇の感があるが、本会議でもそれに関連する発表が数多くなされていた。注目を集めた発表の一つとして、米・ルーセント・テクノロジーより、熱効果による波長可変グレーティングの報告(招待講演)があった。素子構成は光ファイバの外周にヒーターを設け、屈折率の温度依存性等の効果を通じて、ブラッグ波長を随時可変するというものである。この新提案の各要素技術は特に驚くようなもの

ではなく、むしろ熱効果型の光スイッチと同様に、消費電力や将来の高速化への対応が懸念されるものである。あえて無理やりとも思える方法で波長可変性を導入するというこの発表のポイントは、次世代の(つまり本格的な) WDM システムにおいて、波長可変性などのアクティブな特性がそれほど強く求められているという点にあらう。

材料的な観点からは、現有の光ファイバネットワークは、いわばシリカ(SiO<sub>2</sub>)系ガラスを主役とするネットワークであり、非シリカ系の材料にとっては、ネットワーク間に設置される光デバイスとして単にシリカに優る機能だけでは、誘電体結晶材料はもとより、たとえガラスであっても容易には導入されない状況にある。接続の問題は当然として、過剰な損失や熱的性質、さらには機械的強度の問題など、高機能性以前の基本的な数多くの課題を着実に解決して行くことが非シリカ系材料には要求されており、上記の発表は、既存のシリカでどこまで次世代のシステムに適用可能かという試みの一つであるように思う。

会議中にひそかにささやかれていた噂が、会議後の7月下旬には光通信分野の大きなニュースとして現実になった。ルーセントの光ファイバ部門がある日本企業に加わり、巨人コーニングと伍して競争して行ける規模になる、ということである。そのルーセントの、今会議のもう一つのアピールは、フォトリック結晶ファイバであった。フォトリック結晶構造を光ファイバに適用し、通常の光波伝搬原理とは全く異なる方法によって光伝送を行ない、光非線形性や分散特性など種々の光学特性に従来型では到底なしえない特異性を有する光ファイバが、英・バース大学を始めとして、ここ数年盛んに研究されている。

ルーセントのフォトリック結晶ファイバ(ルーセントではこうは呼ばない、air-silica microstructure fibers と称する)は、バース大のそれが、ガラスの細径チューブを多数バンド

ルさせて線引きし作成することに対して、通常の光ファイバ母材に加工を施して形成するため、より簡便かつより多彩なフォトニック結晶構造が可能であるという利点を有する。この通常の光ファイバを基にするという利点を活かして、ブラッグ・グレーティング形成の報告を行った。

ガラス材料関連の話題としては、日本の材料研究者の貢献が目立つ。先に述べた、光ファイバ通信の主流たる材料であるシリカ系ガラスに関して、光誘起屈折率変化に関する理論的研究が、京都大学化学研究所（内野氏）から報告された。光ファイバ・グレーティングはその狭帯域な波長フィルター特性や、位相マスクを使った簡便な作成法から、WDM方式において大いに重宝されており、また関連するベンチャー企業の設立にかっこうの題材となっている。しかしながら、グレーティング形成の基本となるシリカ系ガラスの光誘起屈折率変化については、ミクロな機構解明が依然として不明のまま残されており、本会議でも示された欠陥構造の光化学反応に関する研究成果は、小型で高効率なグレーティングを実現するために、大きな photosensitivity を持つ光ファイバの研究開発に有用な指針となるであろう。

一方、その高い photosensitivity の実現が、水素ローディングに依らない種々の不純物添加により探索されており、今回の会議では特に P（リン）添加シリカガラスの報告が相次いだ。水素ローディングは極めて劇的に屈折率変化を増大させるが、長期安定性、あるいはパテント逃れの点から、水素以外の添加物探しは以前から盛んに研究開発が行われている分野である。P 添加の場合  $10^{-3}$  を超える屈折率変化が達成されており、光誘起屈折率変化の増感剤として定着するかもしれない。このガラス系の光誘起屈折率変化については、数年前から東京工業大学（細野氏）により、欠陥生成に関する屈折率変化機構の解明が進んでおり、その成果から多くの現象が予測できそうである。

さて最後のトピックス紹介として、筆者らが関るガラスの 2 次光非線形性の話題について触れておきたい。前述したように、本来はアクティブな機能性（2 次光非線形性）を有しないガラスに、例えばポーリングなどの方法により結晶に匹敵する機能性を付与する研究は、ガラスが単にパッシブな用途に限定されるというこれまでの常識を覆し、光スイッチや光変調器などの 2 次光非線形性に基づく電気光学（EO）効果による高速の（おそらく究極の）光デバイスの可能性を現実のものとする。

招待講演として、豪・シドニー大学から光ファイバのポーリングに関して総合報告が行われた。熱またはレーザー光を用いたポーリングにより、数 pm/V 程度の電気光学効果がシリカ光ファイバに誘起されるが、実用上の最大の課題は、その誘起効果が長期安定性を十分に達成できていないことである。通常の光ファイバの場合には約 7 ヶ月程度に留まる緩和時間が、電子捕獲不純物として作用する B（ホウ素）を電極周りにリング形状に添加することによりおよそ 8 年まで長寿命化が可能であることが示された。これは実は、NEDO 国際共同研究（代表者：豊田工業大学 生嶋 明教授）の体制により得られた成果の一つであり、バルクガラスにおける豊田工大の材料科学的な知見を光ファイバに新たな工夫を施して適用した結果である。しかし今のところ、真に実用化のための安定性・信頼性を得るレベルまでにはバルクの場合と同様に至っていない。

またワークショップにおいて、熱ポーリングの場合には今までは全く不明であった結晶化の現象が初めて見出されたことが英・サウサンプトン大から報告された。その発見には、紫外光ポーリングによる結晶化と光非線形性の機構解明の研究が大いに契機・刺激になった由であり、シリカ系ガラスの熱ポーリングにおいても起因の定量的な究明が今後より一層進展すると期待される。

我々は、ガラスのレーザー光誘起ナノ結晶化に

よりフォトニック周期構造を形成し、結晶自体から発現する永久的に安定な2次光非線形性を利用する試みを報告した(長岡技術科学大学, 招待講演)。これは、小松らによりこれまで先駆的に行われてきた低融点酸化物ガラスであるテルライト系及びビスマス系ガラスのナノ結晶化に関して、レーザー光によりフォトニック構造を創るいわば光誘起ナノ結晶化バージョンである。テルライト系ガラスが、次世代のEr(エルビウム)添加広帯域光ファイバ増幅器として現用のシリカEDFAを凌駕する特性を有することは、すでにNTTの大石らにより実証されており、EO波長可変グレーティング等のアクティブ機能の付与により、さらなる高機能性の実現が期待できる。また、ビスマス系ガラスについてもやはり次世代のWDM方式を支える広帯域光ファイバ型増幅器として、さらにこの場合にはシリカファイバとの接続が簡便・容易なファイバ型光デバイスとして旭硝子が近年強力で推進しており、これらの新機能を有する非シリカ系材料が、初めて本格的にネットワークへの導入を果たす日も近いと感じている。

国際会議に参加すると、国外研究者の活性度の高さを毎回痛感させられる。優秀な研究者ほどより良い待遇や新たな刺激を求めて組織を自在に移り変わることが常態であり、今回も、元BTのKashyap氏や、サウサンプトン大のDong氏、またシドニー大のKrug, Wong両氏などがすでに新組織に移り、多くの実力ある研究者が世界的なレベルで動き回っていることがよく分かった。これらの研究者の移動先として今回はカナダ・米国東部が目立っていたのは単なる偶然であろうか。トップレベルのプロ研究者達を引きつけ、局地的に集中しシナジー効果を促進する、何か意図的な要因があるのだろうか。

たとえ偶然でも、日本がトップ研究者の一大吸引地となることは果たしてあるだろうか。経済状況を始めとして先の見えにくい今こそ、日本にも背景の異なる活性力、いわば強烈な異分子を本格的に取り込む、研究開発における構造改革の好機であるような気がしてならない。