

MOC '08 速報

宮下隆明 (リコー)

会議名: Microoptics conference '08

開催期間: 2008年9月25日(木) - 9月27日(土)

開催場所: Diamant Conference and Business Centre (ブラッセル: ベルギー)

***** 要約 *****

MOCはMicroopticsに特化した学会で、1987年に第1回が日本で開催されて以来、今回が14回目の開催である。参加者は220名、論文は144件が報告された(うち日本からは75件)。本年は「理論・設計」「材料・作成」「能動デバイス」「受動デバイス」など8分野のセッションが生まれ、さらに「European Network of Excellence for Microoptics (NEMO)」、「ヨーロッパでのナノフォトニクス」の特別セッションが設けられた。微小光学への日本の役割は大きい、今後さらに世界をリードできるような研究開発が重要になる。

1. はじめに

MOCはMicroopticsに特化した学会で、1987年に第1回が日本で開催されて以来、隔年で第9回まではいずれも日本で開催されてきた。しかし、2004年の10回目の記念会議、12回目の会議(ソウル:韓国)に続き偶数回である今回14回(ブラッセル:ベルギー)を含め海外での隔年開催が定着してきた。参加者はここ数年200名強で推移している。第10回のドイツでは280名、第11回(2005年:東京)もそれに近い参加者があった。第12回(一昨年)の韓国では135名と参加者が半減して心配されたが、第13回(昨年)は日本での開催になったこともあり267名が参加した。今回はヨーロッパでの開催になり、日本での開催に比べると参加者がやや少なくなっているが、220名の参加があり活況であった。昨年は132件(ポスターセッション89件を含む:他に招待講演15件)であった論文が144件(ポスターセッション87件を含む:他に招待講演10件)に増えている。ヨーロッパ開催と言うこともあり、日本からの論文は75件で約52%(昨年は91件:約70%)と昨年に比べ件数、構成比率とも下がった。これは開催地が遠方であることが影響していると見た方がいいと考える。

本年は「A 理論・設計」、「B 材料・作成」、「C 計測・機器」、「D 受動デバイス」、「E ダイナミック・機能デバイス」、「F 能動デバイス」、「G 複合化・パッケージング」、「H 新コンセプト・応用技術」といった「マイクロオプティクス」の 카테고리別に報告がおこなわれ、さらに「ヨーロッパでのマイクロオプティクス: European Network of Excellence for Microoptics ヨーロピアン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (NEMO)」、「ヨーロッパでのナノフォトニクス: ヨーロッパにおける分子サイズナノフォトニクスの動向」の二つの特別セッションが設けられた。これは、開催ホストであるベルギー側の希望で、EUのFW6 (Frame Work 6) のファンドを活用した「NEMO: Network of Excellence for Microoptics」プロジェクト(期間: 2004年10月~2008年12月)の成果報告と「Nanophotonics in Europe」の現状報告が行われた。

今年は3日間の会期が設定された。また、今年は報告件数が増えた分、87件の報告がポスターセッション

で行われた。また、同じ週の前半には第 34 回 ECOC (European Conference and Exhibition on Optical Communication) が開催され (10 月 25 日 (木) のみ会期が重複)、両方の会議への参加者は参加費のディスカウントが受けられるなどのメリットがあったため、MOC への出席者が若干増えたようである。

会議は、ブラッセル中心部からやや東にある Diamant Conference and Business Centre で開催された。ブラッセル中心部から地下鉄とトラムを乗り継いで 20~30 分程度の場所であったため比較的アクセスは良かったようだ。会議場の施設は、ポスターセッションのスペースがやや狭かった点を除けば機能的で良かったと言える。

微小光学に関して日本の果たしている役割は大きいと言える。しかし、海外での特に NEMO のプロジェクト活動に見られるような、ヨーロッパでの研究協力体制のネットワーク化が進められている。日本も、今後さらに世界をリードできるための研究開発・体制が重要になると考える。

2. 会議の概要

MOC では、「理論・設計」: 3 件 (+ポスター16 件)、「材料・作成」: 7 件 (+ポスター18 件)、「計測・機器」: 1 件 (+ポスター15 件)、「受動デバイス」: 9 件 (+ポスター9 件)、「ダイナミック・機能デバイス」: 3 件 (+ポスター9 件)、「能動デバイス」: 5 件 (+ポスター7 件)、「複合化・パッケージング」: ポスターのみ 5 件、「新コンセプト・応用技術」: 6 件 (+ポスター7 件) の講演がおこなわれた。

会議は、9/25 (木) ~9/27 (土) の間おこなわれ、初日 (25 日) の午前中には「European Network of Excellence for Microoptics : NEMO」の報告がおこなわれた。午後からは通常の MOC のセッションに入り、17:45 までの報告のあと会場を市庁舎のホールに移して Welcome Reception がおこなわれた。二日目には「ヨーロッパにおけるナノフォトニクスの動向」のセッションのあと 18:00 までポスターセッションがおこなわれた。さらに市内中心部にある「Belgium Center For Comic Strips」に会場を移して 20:00~23:00 まで Conference Banquet で参加者同士の懇談の時間を持つことが出来た。会期三日目 (最終日) 9/27 (土) は 16:00 過ぎまで会議が続き、最後にペーパーアワード (論文賞)、学生論文賞の表彰が行われた。以下、興味深かった講演について紹介する。

3. 会議の内容

3-1. プレナリー (Plenary)

プレナリー講演は、各日の最初に 1 件ずつ計 3 件の講演が行われた。Bahram Jalali (University of California) が非線形シリコンフォトニクス現状を解説、Hirochika Nakajima (Waseda University) が LiNbO₃ (LN) ベースの光学デバイスの 1960 年代からの開発の歴史と今後の展望を整理した。環境センシング用途、バイオ・医用応用を含め LN 結晶の特性を生かした応用への期待を示した。R. Gläbe (University of Bremen, Laboratory for Precision Machining) は、精密機械加工技術でどこまでファインな光学デバイス用金型を作成できるかについて示した。球面 (凸面、凹面)、V 型形状 (凸、凹)、シリンダリカル形状 (凸、凹)、複合形状 (凸、凹) などのそれぞれについての機械加工技術の現状を解説した。

3-2. 特別セッション : Micro-Optics in Europe (NEMO プロジェクトの成果)

2004 年 10 月から始まった NEMO プロジェクト (2008 年 12 月完了予定) の成果についての報告があった。プロジェクトのコーディネーターである H. Thienpont (Vrije Univ. Brussel) が、NEMO プロジェク

トのミッションを含めた概要と現状、今後の展望を説明し、各分野の現状が担当により説明された。P. Chavel (Centre National de la Recherche Scientifique) が、シミュレーションを含むモデリング技術の状況、M. Kujawska (Warsaw University of Technology) が、マイクロオプティクス関連の計測設備、技術の状況、J. Mohr (Institut für Mikrostrukturtechnik) が、マイクロオプティクスのプロトタイプング、レプリケーション技術の状況、Y. Meuret (Vrije Universiteit Brussel) が、NEMO のグループが保有しているシミュレーション、モデリングツールについて説明した。C. Debaes (Vrije Universiteit Brussel) は、3次元実装を行うためのオプティカル PCB 技術の現状、C. Gorecki (Université de Franche-Comté) が、マイクロレンズと MEMS デバイスの実装について、T. Nasilowski (Vrije Universiteit Brussel) が、ファイバブラッググレーティングを形成したファイバの特性について、Y. Jurlin (Université Jean Monnet) が電子ビーム露光技術を用いた位相マスク回折格子の作成ほか応用技術について紹介した。

これらは、2004 年秋から始めた「NOMO : Network of Excellence for MicroOptics」プロジェクト (EU の“フレームワーク 6”のファンド (4 年間で約 8 億円程度) を活用) の研究成果である。ヨーロッパ内のネットワークを構築し、研究機関同士が互いに補完しあうような体制を構築し牽引している。Microoptics だけでなく、Optical MEMS も含め幅広い研究者が参加している。最も力を入れているのが、オプティカル・インターコネクションの分野であるが、4 年間で実用化までの成果を出すのはかなりハードルが高かったようだ。ただ、このような協力関係が構築できたことで、技術の補完だけでなく人材ネットワークの構築が、将来に向けて大きな財産になって行くと思われる。EU のファンドを活用したプロジェクトを立ち上げる際に、国際的なネットワーク構築を EU から求められたこともあり、日本、米国から一応参画した形になっている。日本は、國分教授 (横浜国大) が代表になり、筆者が Secretary として EU に登録されている。実際はあまり大きな動きは無いのだが、互いの協力関係を構築できていることが重要になっている。

3-3. 理論・設計 (Theory, Modeling and Design)

「理論・設計」セッションでは 3 件の講演があり、光導波路上に形成されたグレーティングカプラの構造をシミュレーションで最適化、F ナンバーの小さい画像形成システムを実現する新規な設計理論の提案などの報告があった。

Shogo Ura (Kyoto Institute of Technology) らは、 freespace オプティクスに応用するための、光導波路上に形成されたグレーティングカプラの構造をシミュレーションで最適化した。RGC (Resonance Grating Coupler) と名づけた方式で、従来方式に比べ高効率を実現した。DBR (分散型ブラッグリフレクタ) を導波路表面に形成したグレーティングカプラの前後に配置することで、高効率を実現、反射効率はほぼ 100% 近くになり、850nm 域での出射結合効率は 60% を超えたとしている。今後試作し確認を進める予定。

Sang-Hyuck Lee (Center for Information Storage Device, Yonsei University)、No-Cheol Park (Department of Mechanical Engineering, Yonsei University) らのグループは、F ナンバーの小さい画像形成システムを実現する新規な設計理論を提案した。小型の画像処理システムの解像度はその大きさとレンズの枚数によって限定されているが、光学系とデジタルイメージ処理を同時に最適化することによって、追加の光学式光学系を用いることなく CMOS イメージセンサの空間解像度限界と光学系の回折限界を上回ることができるとしている。報告された例は、F ナンバー : 2.0、画角 : 60° 、イメージセンサ : 10M ピクセル (ピクセルサイズ : $1\mu\text{m}$) の光学系で、4 枚構成の非球面レンズでセンサ側の最終レンズの波面収差を大きく変動させる設計をおこない、系全体として回折限界を超える解像度を得た例が示された。確かに、報

告で示された例では解像度の向上が認められたが、結果のみの説明が主で、詳細が示されなかったこともあり会議参加者もいまひとつ納得できていない面もあった。今後、フルペーパーが公開されるのを期待したい。

3-4. 材料・作成 (Materials and Fabrication)

「材料・作成」のセッションでは7件の講演があり、シングルパルスフォムト秒レーザを用いたシリカガラスへの3次元ホログラフィックマイクロパターン形成、マルチモードスラブ導波路に形成されたグレーティングカプラに関する検討、薄層ガラスを用いたガラスパッケージング技術、マスクレスリソグラフィに適用するためのマルチプローブリソグラフィシステム、電子ビームリソグラフィを用いた球面形状の表面に微細パターンを形成した例、ウェハレベル実装技術の動向が報告された。

Masahiro Yamaji (Nanotechnology Glass Project, New Glass Forum) らは、計算機ホログラムを用いて作成したホログラムにフェムト秒レーザを照射し、シリカガラス中に3次元のフォトニッククリスタル構造を作成した例を示した。作成されたフォトニッククリスタル構造は4つの層に分割されているが、記録されたパターンは、各層ごとにサイズ(光軸方向の長さ)が異なっており、これが主要な欠点であると考えられている。しかし、この光軸方向のサイズ伸長は、パルス強度と照射時間によってコントロールできると説明されており、フェムト秒レーザの照射エネルギー、パルス幅を変化させた際のパターン長の変化のデータが示された。まだ実際にはパターン長を合わせた試作は出来ていないようだ。ただ、本方式での3次元のフォトニッククリスタル構造作成法については、現時点ではまだ可能性を示した段階で今後の継続的な開発が必要であるとしている。N. Destouches (Laboratoire H. Curien UMR CNRS)、N. Hendrickx (Ghent University, TFCG Microsystems, Dept. of Information Technology) らのグループは、マルチモードスラブ導波路に形成されたグレーティングカプラと高屈折率誘電体材料で作成された波状の金属鏡とで構成されたデバイスで、入射ビームを異なったモードでマルチモード型スラブ導波路に入射させることができることを示した。Henning Schröder (Fraunhofer IZM, Germany) らは、ガラスパッケージング技術である薄片状のガラスを使用する“フォトニック(光量子)パッケージ技術”と称する技術を紹介した。エレクトロオプティカル回路基板に活用する、新規なオプティカルカップリング素子も紹介した。進化を続けているナノフォトニック技術をセンサとマイクロフォトニック技術の周辺技術として活用する検討を行った。流体計測を行うための光導波路に形成したマッハツェンダー干渉計の実装技術の例、ガラス薄片の両面にイオン交換で形成した分布屈折率型導波路と他の機能素子との実装の例なども説明し、技術の広い応用範囲を示した。Joong-Hee Min (Center for Information Storage Device)、Jiseok Lim (Yonsei University) らのグループは、マスクレスリソグラフィに適用するための、マルチプローブリソグラフィシステムの例を示した。He-Cd レーザー($\lambda=442\text{nm}$)を光源に、空間変調素子とマイクロレンズアレイとを組み合わせフォトレジストを露光するシステムを開発した。現時点では、パターン幅 $2\ \mu\text{m}$ でまだまだ細くする必要はあるが、マイクロレンズが $36\ \mu\text{m}$ ピッチで2次元配列されているため、フォトレジストをコートした基板を2次元方向に $36\ \mu\text{m}$ 移動させるだけで大きな面積の露光が可能になる。今回の試作では、 $36.9\text{mm}\times 27.6\text{mm}$ の領域への露光を行った。He-Cd レーザ光源をビームエキスパンダで拡大、平行光に変換し空間変調素子に入射させているため光量分布の均一性確保の問題がある。本研究では、個々のマイクロレンズ間にアパーチャーを形成し、光量分布の均一化をはかっている。このようにすることで、各マイクロレンズを透過する光量の均一化が図れる。通常の半導体の露光用には解像度が足りないが、MEMS デバイスの作成など他の用途への応用の可能性がある。Birgit Päivänranta (University of Joensuu)、Marko Pudas (University of Oulu)、

Hans Peter Herzig (Institute of Microtechnology) らのグループは、電子ビームリソグラフィーを用いて、従来のリソグラフィー技術では困難であった球面形状の表面に微細パターンを形成した。球面形状の表面へのフォトレジストコーティングは、従来のスピコート法が使用できないために、ディッピング法を用いた。直径 $145\mu\text{m}$ のマイクロレンズ表面に電子ビームに感度のある PMMA フォトレジストをコートし、 $100\sim 400\text{nm}$ 程度の周期的な凹凸を形成した。手法は確かに面白い面もあるが、具体的な応用については、現時点では微細構造を設けたことによる反射防止程度しか考えられていないようだ。

Reinhard Völkel (Süss MicroOptics) は、ウェハレベル実装技術の現状を紹介した。マイクロレンズ、偏光素子などの受動素子にセンサなどの能動素子を組み合わせる際に、それぞれのデバイスを形成したウェハを一体で接合した後、素子サイズに切断するウェハレベル実装技術は最近広く用いられるようになってきた。ただし、個々のデバイスの不良率が乗算で積み重ねられるために、各ウェハの不良をいかに小さくするかが重要になってくる。特に価格の高い能動素子の良品部分に、受動素子の不良部品が組み合わせられた場合には損失が大きくなってしまう。生産性が高い技術である反面、そのような課題への対応が重要になる。また、各ウェハの接合時の平行度、位置合わせの管理も重要な課題になる。WLC (ウェハレベルカメラ) への応用についての現状も報告した。

3-5. 受動デバイス (Passive Device)

「受動デバイス」のセッションでは 9 件の講演があり、分布屈折率型コアを持つポリマー導波路アレイ、GaInAsp/InP 光導波路にエッチングでトレンチを設け TE-TM モード変換をおこなう検討、フェムト秒レーザに適用するパルス整形器、ブラッググレーティングを形成し複屈折を増加させたフォトニック結晶ファイバ、シングルモード導波路をエポキシ材料を用いて作成する方法、LIGA プロセスを用いてフリースペースオプティクス用のマイクロ光学ベンチを作成する方法などの報告があった。

Yusuke Takeyoshi (Keio University) らは、高密度に配列した 2×4 の分布屈折率型コアを持つポリマー導波路を試作した結果を報告した。従来のステップインデックス型導波路に比べ優れた特性を持ち、導波路間ピッチ $50\mu\text{m}$ という非常に小さなピッチでの配列でもクロストーク -30dB を達成した。伝播ロスも小さく、 0.028dB/cm (850nm)、 0.061dB/cm (980nm) を達成し、 12.5Gbps の伝送も可能であった。従来はステップインデックス型導波路が主流でかつガラス、結晶などの材料で作成された例が多いが、分布屈折率型コアを持つ導波路は伝播ロスが小さくなる可能性があり、デバイス設計の自由度が増すことも考えられる。今後の進展を期待したい。Hans Knuppertz (FernUniversität in Hagen) らは、一平面にグレーティング (1)、反射型変調器 (1)、平面ミラー、反射型変調器 (2)、グレーティング (2) を配列し、対向する平面に 4 つの放物面ミラーを配置したフェムト秒レーザに適用するパルス整形器の試作結果を報告した。

3-6. 能動デバイス (Dynamic and Functional Devices)

「能動デバイス」のセッションでは 5 件の報告があり、カーボンナノチューブの光デバイスへの応用、VCSEL (面発光) レーザに凹面の外部ミラーを付加した DBR (分布帰還型) レーザ、SHG 素子、モード選択が可能な内部共振器として回折素子を持つ半導体レーザ、回折格子アシスト型の表面プラズモンリサイクル有機 LED などの報告があった。

S. Yamashita (University of Tokyo) は、パッシブモードロックファイバーレーザー、非線形光学素子へのカーボンナノチューブの応用を解説した。カーボンナノチューブ応用デバイスは、超高速応答、安定性、

波長可変性が期待できる。Tomoyuki Kato (Tokyo Institute of Technology) らは、DBR (分布帰還型) VCSEL (面発光) レーザに凹面の外部ミラー (曲率半径: 4.71mm) を配置し 31GHz の副高調モードロック共振を低電流 (1.6mA) で実現した例を示した。外部ミラーの機械的な振動を含む安定性の確保が課題になる。

3-7. 新コンセプト・応用技術 (Novel Concepts for Applications)

「新コンセプト・応用技術」のセッションでは 6 件の報告があり、プラズモニック・メタマテリアルの光学特性についての紹介、溶液プロセスで作成される有機フォトダイオード、マイクロリングリゾネーター (共振器) の波長温度依存性と制御、リアルタイム DNA 検出用の導波モード共鳴格子、シリコンウエハ上に形成した流体マイクロチャンネルを吸光度分析のために活用する検出ユニット、マイクロレンズアレイを用いたクローズアップ画像処理システムなどの報告があった。

Takuo Tanaka (RIKEN) は、プラズモニック・メタマテリアルの光学特性について説明、メタマテリアル材料の作成法、応用について紹介した。また、フェムト秒レーザを金属の錯イオンを含む材料中にサブミクロンサイズに集光照射し、レーザが照射された部分に局所的に金属イオンを還元させることで自由な形状を持つ金属構造体の 3 次元構造を作成する方法を紹介した。Yutaka Ohmori (Osaka University), Taichiro Morimune (Takuma National College of Technology) らのグループは、溶液プロセスを用いて作成する有機フォトダイオードの高速フォトディテクタ用途への応用を検討している。ポリ (9.9 - ジオクチルフラーレン) 派生物およびフラーレン派生物をホストおよびドーパント材料として用いた有機フォトダイオードを試作した。その結果、-10V のバイアス電圧の印加条件でカットオフ周波数 60MHz が確認できた。また、サイン波変調した 80MHz の光信号を検出することができ、高速応答への可能性が明らかになった。この結果により、マイクロオプティクス分野での種々な応用、フォトダイオードアレイなどへの応用の可能性を持つことが実証できた。Yasuo Kokubun (Yokohama National Univ.) らは、SiON コア構造の垂直結合されたマイクロリングリゾネーター (共振器) の波長温度依存性は、フォトエラスティック効果による内部ストレス制御によってコントロールすることができることを明らかにした。デバイス表面温度の制御により、偏光依存性の無いマイクロリングリゾネーター (共振器) が実現できることも示した。UV 感度の高い SiON の特性を利用して、UV トリミングによりマイクロリングリゾネーターの偏光依存性の無い共振周波数を変化させることも示した。Sara Van Overmeire (Vrije Universiteit Brussel)、Lukasz Nieradko (Université de Franche)、Timo Mappes (Universität Karlsruhe)、Jürgen Mohr (Institut für Mikrostrukturtechnik, Forschungszentrum Karlsruhe) らのグループは、シリコンウエハ上に形成した流体マイクロチャンネルを吸光度分析のために活用する検出ユニットをデザインした。ユニットの主構成要素はプラスチック、金をコーティングした光カプラである。励起光は金コーティングされた光カプラ表面で反射し、シリコンチップ内に形成されたマイクロチャンネルのサイドウォールに導かれる。課題は均一に分子を励起させるように長く狭いマイクロチャンネル内で効率的に光を伝播することである。光線追跡シミュレーションにより、光カプラの特性を最適化し、また、許容量分析をおこない光カプラの製作誤差限界を明らかにした。次ステップでは、シミュレーションで得られた構成を試作し評価するとしている。ただ、マイクロチャンネルの高さが低いまま (50 μ m) では光伝達効率が悪いため、トレードオフ関係にある感度を多少落とし、例えば 100 μ m の高さでの試作も視野に入れて検討するとのことである。Andreas Brückner (Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering) らは、マイクロレンズアレイを用いたクローズアップ画像処理システムを提案した。レンズピッチ 0.25mm の 3 枚構成のマイクロレンズアレイを用いて、超薄型の等倍結

像デバイスを設計・試作した。設計緒言は、デバイス長さ(厚さ):5.5mm、F値:9、レンズピッチ:0.25mm、物体距離:2.3mm、解像度:50本/mmである。センササイズ5×5mmで試作した。3枚構成の光学系は、中間像を形成するがテレセントリック光学系を採用しているため基本的にクロストークがおきないとしている。しかし、結像に寄与する(寄与してほしい)光線だけをレイトレースした場合にはクロストークが発生しないが、実際にはクロストーク光が発生し光学系のノイズ(フレア光)のために像のコントラストが低下すると考えた方がいいと思われる。現に、示された解像度評価チャートはかなりコントラストが悪くなっている。また、最終的には4000dpi(約80本/mm)の読み取りが可能という説明をしていたが、根拠があいまいであった。類似の光学系は幾世代にもわたって検討された実績もあり、ほとんど実用化されたものがない。アイデアは面白いものがあるが、さらに検討が必要になるだろう。

4. おわりに

本会議は、「マイクロ」というキーワードで関連付けができる、光技術のみならずオプトエレクトロニクス技術全般の会議として育ち、第1回が開催されてから21年が経過した。初期は、どちらかと言うとオプティクスの要素の方が強かったが、VCSELの登場などによるアクティブデバイスとパッシブデバイスの融合などマイクロオプティクスという幅広い分野をカバーする会議としてその価値を定着させてきた。これはひとえに伊賀先生(東工大・学長)をはじめ、微小光学研究会のスタッフの熱意、さらには海外研究者とのパイプの構築、維持をはじめとした努力の成果である。

微小光学(マイクロオプティクス)というキーワードで結ばれた、各種のデバイス、応用技術、計測技術など幅広い技術分野をカバーしている。また最近、ナノの世界への広がりも見せ始めている。今後のますますの進展を期待したい。

以下の3件が論文賞に選出された。

- “Three dimensional holographic micro-patterning inside silica glass by single pulse femto-second laser” (Dr. Masahiro Yamaji, New Glass Forum, Japan)
- “Plasmon mediated resonant transmission through an undulated metal film used as information carrier” (Y. Jourlin, Laboratoire H. Curien UMR CNRS, France)
- “Printable photodiodes utilizing conducting polymers and fullerene derivative” (Yutaka Ohmori, Osaka University, Japan)

また、学生論文賞には次の論文が選出された。

- “Plastic light coupler for absorbance detection in silicon microfluidic devices” (Sara Van Overmeire from VUB, Belgium)
- “Wave-optical simulation of a complex micro-optical system including tilted optical elements” (Mr. Maik Lano from Friedrich Alexander University of Erlangen, Germany)
- “Wafer scale fabrication of micro mirror array for small form factor optical pick-up by UV” (Minseok Choi from Yonsei University, Korea)

今回は、日本に戻り、東京(日本科学未来館)で2009年10月25日(日)–28日(水)の開催が予定されている。