

Photonics Europe 2010 速報

宮下隆明 (リコー)

会議名 : Photonics Europe 2010 : Micro-Optics

開催期間 : 2010年4月12日(月) - 4月16日(金)

開催場所 : The Square Conference Ctr., Brussels, Belgium

*****要 約*****

Photonics Europe は SPIE が主催する「応用光学」に焦点をあわせた学会で、今回は 19 の異なる分野でのセッションが並行して開催され、全体で約 1300 件の発表が行われた。メタマテリアル、ナノフォトニクス、フォトニッククリスタル、バイオフォトニクス、マイクロオプティクス、光学設計、マイクロ・ナノ計測、シリコンフォトニクス、レーザ (半導体、固体、高出力)、有機フォトニクス、太陽エネルギーフォトニクス、光学センシング、量子光学、非線形光学などの分野に分かれて並行して議論が行われた。筆者は、マイクロオプティクスのセッション (発表論文は約 100 件) に出席したので、その概要を報告する。

1. はじめに

Photonics Europe は SPIE が主催する「光学」の応用に焦点をあわせた学会で、今回は 19 の異なる分野でのセッションが並行して開催され、全体で約 1300 件の発表が行われた。ブラッセル (ベルギー) の中央駅から徒歩で 5 分ほどにある、The Square Conference Ctr. (スクエア・コンファレンス・センター) を会場に会議が行われた。世界遺産で有名なグランプラスへも徒歩 10 分程度で行ける場所にあるため、立地を含め設備も良い会場であった。

会議は、メタマテリアル (会議 7711)、ナノフォトニクス (会議 7712)、フォトニッククリスタル 材料・デバイス (会議 7713)、フォトニッククリスタル・ファイバ (会議 7714)、バイオフォトニクス (会議 7715)、マイクロオプティクス (会議 7716)、光学設計 (7717)、マイクロ・ナノ光計測 (会議 7718)、シリコンフォトニクス&光回路 (会議 7719)、半導体レーザ (会議 7720)、固体レーザ・増幅器 (会議 7721A)、高出力レーザ (会議 7721B)、有機フォトニクス (会議 7722)、光学・フォトニクス・デジタル技術のマルチメディア 応用 (会議 7723)、リアルタイム・イメージ・ビデオプロセッシング (会議 7724)、フォトニクスの太陽エネルギーシステムへの応用 (会議 7725)、光学センシング (会議 7726)、量子光学 (会議 7727)、非線形光学と 応用 (会議 7728) の 19 のセッションが全て並行して開催された。講演を聞く会場を自由に選べるとは言うものの、実際には複数のセッションに参加するのは難しいのが実情であった。

筆者は、今回は「マイクロオプティクス」のセッションのみに参加したため、同セッションの中からのトピックを選んで報告する。

また、会期中にアイスランドの火山が噴火の影響で、16日(金)の会議後に帰国しようとしていた海外からの多くの参加者が足止めされる事態になったようだ。筆者も16日(金)の夜の便を予約していたため、当日から日本への帰国便が欠航になり結局5日間ブラッセルのホテルに足止めされ、帰国後の大幅な予定の変更を余儀なくされた。

また、今回の会期中に、Prof. Hugo Thienpont (Vrije Univ. Brussel (Belgium)) がリーダーをつとめる Brussels Photonics-Team (B-Photo) のキックオフミーティングが行われた。その前身は 2004 年秋に設立された「NOMO : Network of Excellence for MicroOptics」プロジェクト (EU の“フレームワーク 6”のファンドを活用) である。プロジェクト期間が終わり、その際に研究成果やヨーロッパ内外に構築したネットワークを生かした研究を継続して進めているようだ。今後もヨーロッパの研究機関同士が互いに補完しあうような体制を継続するようである。Microoptics だけでなく、Optical MEMS ((Micro Electro Mechanical Systems)も含め幅広い研究者が参加している。企業の参加 (主にスポンサーとして) も呼びかけ、研究成果のフィードバックをおこない実用化に向けた取り組みの推進も同時に試みている。

2. 会議の概要

4 月 12 日 (月) ~ 4 月 16 日 (金) の 5 日間の会期が設定され、第 1 日目 (12 日) には Session 1: Micro-optics Fabrication Technologies I (マイクロオプティクス作製技術 I)、Session 2: Polymer Microlenses (ポリマーマイクロレンズ)、第 2 日目 (13 日) には Session 3: Tunable Micro-optical Components (波長・周波数可変マイクロ光学素子)、Session 4: Microlenses and Microcameras (マイクロレンズ、マイクロカメラ)、Session 5: Micro-Optics, Optical Spectra, and Pulses (マイクロオプティクス、光スペクトル、光パルス)、第 3 日目 (14 日) には Session 6: Micro-optics in Biochips and Microfluidics (バイオチップ、微小流体用マイクロオプティクス)、Session 7: Micro-optics Fabrication Technologies II (マイクロオプティクス作製技術 II)、第 4 日目 (15 日) には Session 8: Micro-Optics in Industry (マイクロオプティクスの産業応用)、Session 9: Micro-optics in Projectors and Displays (プロジェクタ・ディスプレイのマイクロオプティクス)、Session 10: X-ray Micro Optics (X 線マイクロオプティクス) の講演が行われた。さらに、第 5 日目 (最終日: 16 日) には Session 11: Optical Interconnects and Flexible Micro-optics、Session 12: Diffractive Micro-optics のトピック講演が行われた。

また、関連展示会が、13 日~15 日の 3 日間行われ、第 2 日目の 14 日の 13:00 - 16:30 には展示会のみ時間が設定され、講演会に参加する人が見学できるよう配慮されていた。

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 マイクロオプティクス作製技術

「マイクロオプティクス作製技術」セッションでは 10 件の講演があり、Ralf Gläbe (Transregional Collaborative Research Ctr. (Germany)) は、ダイヤモンド工具で加工したマイクロオプティクスデバイス作製の可能性と特性について、Ulrich Klug (Laser Zentrum Hannover e.V. (Germany)) は、ポリマー材料のレーザを用いた高精度加工法について、M. Worgull (Karlsruhe Institute of Technology (Germany)) は、熱エンボス加工法を用いた光デバイスの複製法について、Rien de Schipper (Penta HT Optics (Netherlands)) は、射出成型法を用いたマイクロオプティクスデバイスの量産加工について、Fengzhou Fang (Harbin Institute of Technology (China)) は、機械加工プロセスで加工可能なマイクロオプティクスデバイスについて報告した。

Jurgen Van Erps (Vrije Univ. Brussel (Belgium)) らは、陽子線放射を用いた短時間プロトタイプング技術のマイクロオプティクスデバイスへの応用について、Hubert Hauser (Fraunhofer-Institut für Solare

Energiesysteme (Germany)) らは、ナノインプリントリソグラフィを用いた太陽電池表面のテクスチャー構造作製による反射防止技術に関する報告のなかで、結晶 Si 表面にハニカム形状、あるいはピラミッド構造を連続的に作製することで、反射防止をしなないと 35%以上の表面反射があるものが、13 - 14%程度に低減でき大きな効果があることを示した。

Torsten Harzendorf (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、電子線リソグラフィにより作製したハーフトーンマスクを用いて作製する光デバイスの表面形状制御について、Daniela Radtke (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、平面でない基板（例えば球面）へのフォトリソグラフィ法を用いたパターン形成技術について、Sven Schule (Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Germany)) らは、Mach-Zehnder (マッハ・ツェンダー) 干渉計をマイクロベンチ上に組み込み FT-IR (赤外分光) 用分光部の干渉計として用いた例などへの応用可能性を示した。

3.2 ポリマーマイクロレンズ

「ポリマーマイクロレンズ」セッションでは5件の講演があり、Véronique Bardinal (Jean-Baptiste Doucet, Lab. d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (France)) らは、フォトポリマーで作製したマイクロオプティクスデバイスと VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) を組み合わせたデバイスについて報告した。VCSEL 表面にレーザの発光波長に感度のあるフォトレジストを滴下し、レーザを発振させることで光路に対応した部分だけが光重合がすすみ、レンズ作用のあるライトガイドが作製できることを示した。VCSEL の電流制御により、レンズ形状の制御がある程度できるとしている。外付けのレンズを付加する場合に比ベアライメントが容易になり損失が低減できるということである。

Olivier Soppera (Univ. de Haute Alsace (France)) らは、セルフガイド光重合による光導波路とマイクロレンズの製法について、Qin Wang (Acreo AB (Sweden)) らは、長波長光を用いる光回路の集積化について、Mangirdas Malinauskas (Vilnius Univ. (Lithuania)) らは、2光子重合を用いたマイクロレンズの作製について報告し、レンズ直径 10–200 μm 程度で、表面の平坦度は 20nm 程度が実現できるとしている。

3.3 波長・周波数可変マイクロ光学素子

「波長・周波数可変マイクロ光学素子」セッションでは6件の講演があり、Pietro Ferraro (Istituto di Cibernetica Eduardo Caianiello (Italy)) らは、誘電分極基板に作製した可変焦点液晶マイクロレンズについて報告し、 LiNbO_3 を用いた pyroelectric effect (焦電効果：温度変化によって誘電体の分極 (表面電荷) が変化する現象) で、加熱 - 冷却により焦点距離を変化させる方式を提案した。現時点では、まだシリンドリカルレンズが作製できた段階で、球面レンズについては今後の検討が必要としている。Tigran V. Galstian (Univ. Laval (Canada)) は、可変焦点液晶マイクロレンズについて報告した。

Philipp Waibel (Albert-Ludwigs-Univ. Freiburg (Germany)) らは、液体をフィルム中に充填した色収差のない可変焦点マイクロレンズ (焦点距離：10mm～50mm 調整可能) のシミュレーション結果を示した。光軸方向に3室を設け (アポクロマトで色収差が補正できる構造)、シリコンフィルム (約 50–100 μm 厚) で室間を分離し中央の球面凸レンズの曲率を変動させたシミュレーションを行った。レンズ口径を 2mm 程度としたときに、焦点距離が 10mm を超えるように設定すれば収差が低減できることを示した。それでも残存波面収差は、 $\lambda/4$ 程度であるため、さらに検討が必要としている。

Sebastian Doring (Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (Germany)) らは、電気活性なポリマーを用いた可変焦点回折デバイスについて、Carl V. Brown (Newton, Nottingham Trent Univ. (United Kingdom)) らは、高速応答が可能な液晶レンズの特性について、Heidi Ottevaere (Vrije Univ. Brussel (Belgium)) らは、可変焦点液晶マイクロレンズ、レンズアレイのベンチマーク解析結果について報告した。

3.4 マイクロレンズ、マイクロカメラ

「ポリマーマイクロレンズ」セッションでは5件の講演があり、Bruno Berge (Piere Craen, Varioptic SA (France)) は、カメラモジュールに組み込んだ液晶レンズで焦点調節と傾斜補償をリアルタイムでおこなう方法について、Andreas Brückner (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、彼らがここ数年開発をすすめている超薄型デジタルカメラ光学系の特性について報告した。単板のレンズアレイにイメージセンサを組み合わせた簡単な構造のデバイスであるが、レンズ1枚を使用するだけであるため、デバイスの厚さは2mmと、かなりの薄型化を実現している。各レンズに対応したイメージセンサにはそれぞれ異なる倒立像が投影され、それを合成することで全体のイメージを得るものである。解像度は50本/mm程度が得られるとしているが、合成された画像を見る限りノイズ成分も大きく、実用にはさらなる検討が必要になると思う。クロストーク光をいかに低減するかが課題になる。

Daniel Patz (Technische Univ. Ilmenau (Germany)) らは、可撓性のあるフィルムでレンズ形状を作製し、そこに充填するオイルの量を変化させることで焦点距離を変化させる複眼レンズについて、Robert Leitel (Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、Gabor superlens (ガボール：スーパーレンズ：レンズアレイを複層設けた光学系) を用いたウェハーレベルカメラ光学系について、Frank C. Wippermann (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、低価格でリジッドな(可撓性の無い)内視鏡の特性改善について報告した。彼らのグループは、生体親和性の高い材料として、先端のフィールドレンズにAgイオンを用いた分布屈折率型レンズを採用しているため、大きなNAを確保でき、画角も大きくとれる利点を持っている。

3.5 マイクロオプティクス、光スペクトル、光パルス

「マイクロオプティクス、光スペクトル、光パルス」セッションでは3件の講演があり、Nicolas Guerineau, ONERA (France) は、ピンホールカメラをベースとしたマイクロカメラとマイクロスペクトロメーター(マイクロ分光器)の設計検討結果について、Alexei L. Glebov (OptiGrate Corp. (United States)) らは、ボリュームブラッググレーティング(体積ブラッグ格子)の超狭帯域特性を生かした光学フィルタとしてのオプトエレクトロニクスや計測への応用について、Rudiger Grunwald (Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (Germany)) らは、フォムト秒レーザーの光源としての性能向上(波面制御)のためにLCOSを用いた空間変調素子を組み合わせた際の特性について紹介し、技術の進展状況を明らかにした。

3.6 バイオチップ、微小流体用マイクロオプティクス

「バイオチップ、微小流体用マイクロオプティクス」セッションでは6件の講演があり、Anders Kristensen (Technical Univ. of Denmark (Denmark)) らは、ナノインプリント技術とフォトリソグラフィ技術を組み

合わせて作製したフォトニッククリスタル色素レーザーの特性について、Timo Mappes (Karlsruhe Institute of Technology (Germany)) らは、ポリマー光導波路を用いたラボ・オン・チップ (ラボ環境が無くても簡単に生物医学的検査が行えるようなデバイス) 作製方法について、Martin Amberg (Technische Univ. Ilmenau (Germany)) らは、集積型自由空間微小流体デバイスの蛍光検出への応用について、Meike Hofmann (Technische Univ. Ilmenau (Germany)) らは、高集積光学マイクロシステムの微粒子計測装置の応用について、Sara Van Overmeire (Vrije Univ. Brussel (Belgium)) らは、シリコン材料を用いた微小流体デバイスのプラスチック光カプラを用いた吸収測定応用について、Sureerat Homhuan (National Univ. of Singapore (Singapore)) らは、プロトンビームを用いたエレクトロポレーション (電気穿孔法: でんきせんこうほう) 用バイオチップ (生体素子) 作製法について報告した。

3.7 マイクロプティクスの産業応用

「マイクロプティクスの産業応用」セッションでは 4 件の講演があり、Robert Brunner (University of Applied Science Jena (Germany)) らは、分光モジュールの小型化とその応用について、Jan Watte (Tyco Electronics Corp. (Belgium)) は、マイクロプティクス技術が次世代の光ファイバを用いた通信、特にアクセス系の中での応用について、Piet De Pauw (Melexis N.V. (Belgium)) は、自動車に用いることが可能なマイクロプティクス技術について概説した。自動車内の情報伝送に用いる光多重化技術、ヘッドアップディスプレイ、赤外画像センサーなどを例にあげその可能性を紹介した。Edwin Wolterink (Anteryon B.V. (Netherlands)) らは、ウェハープティクス技術の量産化対応について、特にカメラモジュールの可能性について詳細に報告した。また、それにより作製されたデバイスの信頼性について、カメラモジュールがリフロープロセスで他の基板に組み立てられる際に発生する、はく離、接着層の黄化、サイドクラック、表面クラックなどの発生状況について報告した。ウェハープティクスで製作されたカメラは、オートフォーカスができないところに課題があるが、焦点調節は液晶の利用が検討されているとの説明があった。

3.8 プロジェクタ・ディスプレイのマイクロプティクス

「プロジェクタ・ディスプレイのマイクロプティクス」セッションでは 6 件の講演があり、Frank Wyrowski (Friedrich-Schiller-Univ. Jena (Germany)) らは、拡散素子を用いたディスプレイ用均一照明デバイスについて、分割された部分のシミュレーションとその合成による全体の均一化について紹介した。Michael Flämmich (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、有機LEDに組み合わせたボールレンズによる放射光の均一化、照射形状コントロールなどについて報告した。Peter Schreiber (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、LED光源とマイクロレンズアレイを組み合わせた”LEDスポットアレイジェネレータ”で、マイクロレンズの構造をさまざまに変えることで、2次元の均一照明の可能性を示した。さらに、単一LED光源から 21×21 スポットの 2次元ドットマトリクス照明を試作し、2次元ディスプレイの可能性についても報告した。レーザー光源と回折光学素子の組み合わせで生ずるスペckルパターン、温度依存性の問題の解消などにつながるとしている。ここでのマイクロレンズは、ポリマー・オン・ガラス技術を用いガラス基板にポリマーマイクロレンズを形成した。これは、マイクロレンズ間にクロストーク防止用のアパーチャーを形成する必要があるためである。また、レーザーの場合課題になる0次光の問題も発生しない。Andreas Heger (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、RGBの3色のレーザー光源をファイバに導入

し、2軸走査のMEMSミラーで2次元走査する方式のディスプレイ投影デバイスについて報告した。60×36×10mm³の小型のシステムが作製可能であることを示した。Marcel Sieler (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、2次元配列LEDとマイクロレンズ光学系との組み合わせにより350×350ピクセルの画素を12×10×6mm³のサイズに組み込むことができた例を紹介した。

3.9 オプティカルインターコネクト・ファイバ & ディフラクティブマイクロオプティクス

「オプティカルインターコネクト・ファイバ & ディフラクティブマイクロオプティクス」セッションでは12件の講演があり、Michael Vervaeke (Vrije Univ. Brussel (Belgium)) らは、衛星に搭載される光通信モジュールに求められる要件を整理し、今後の開発動向について解説した。Jeroen Missinne (Univ. Gent (Belgium)) らは、非常に柔軟な材料である polydimethylsiloxane (PDMS : ポリジメチルシロキサン) ポリマー導波管を埋め込んだ圧力センサーについて報告した。また、人工皮膚としての応用可能性等についても報告した。Erwin Bosman (Univ. Gent (Belgium)) らは、ポリマー光導波路に一体化して埋め込まれた VCSEL と GaAs センサ (フォトダイオード) を用いたトランシーバーデバイスについて報告し、さらに、温度 (-40~125°C)、85°C・85% (相対湿度)・1000 時間の環境での試験を含む信頼性についても報告した。Uwe D. Zeitner (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (Germany)) らは、宇宙空間からの地球観測に用いる衛星用の分光計グレーティングについて報告した。サイズの大きさだけでなく精度に関しての要求も高いため、高精度で大面積なデバイスが要求され、最近の2件の開発事例を示した。第1は、ESA (European Space Agency : 欧州宇宙機関) の GAIA ミッション (2012年打ち上げ予定で5年間の観測を予定している、銀河系の3次元マップを作製するための衛星プロジェクト) の Radial-Velocity-Spectrometer (視線速度分光計 : 天体が持つ速度のうち、観測者の視線方向に沿った速度成分を測定する技術。視線速度を有する天体からの光はドップラー効果により発光光の波長の伸び(遠ざかる場合 : 赤方偏移)、縮み(近づく場合 : 青方偏移)が発生する。)用の回折格子で、205mm×155mmのサイズで感度確保の点からも高い精度が要求されている。第2の例は、地球観測ミッションのための高分散 NIR (近赤外) 分光計用グレーティングであり、それぞれ電子線リソグラフィーによって作製、実現したことを示した。

4. おわりに

本会議は、2年ごとにヨーロッパで開催されている学会である。応用光学に関する多くのトピックを扱っているため、光技術に関連する研究者、開発・設計者など多くの参加者がある。今回は、全体で1300名程度の参加があったが、残念ながら日本からの参加者は非常に少なく、おそらく、全体でも10名程度ではないかと思われる。会議後に開催される立食パーティー(200-300名程度は参加していると思われるが)でも、殆ど日本人の姿を見かけなかった。会議の場ではなかなか本音で話すことができない部分を、アルコールの力も借りて語り合える良い場なのだが、なかなか参加される人が少ないのは残念である。このような場を活用して、いろいろな情報交換だけでなく共同研究の可能性を探ったりすることも可能なのだが、なかなかうまく活用されていないようである。さすがにビールの国ベルギーだけに、とめどなくビールが提供されていた。

昨今の経済情勢からしてなかなか出張するのは難しい面もあると思うが、中国から(あるいは中国人)の参加者の多さには驚かされる。日本からも、もっと積極的にヨーロッパのコミュニティーに入っていく努

力が必要になるのではないだろうか。

「マイクロオプティクス」は、光デバイスをはじめ、応用技術、計測技術など幅広い技術分野をカバーしており、最近では「ナノ」の世界との融合も始まっている。今後のますますの進展を期待したい分野である。

今回は、2年後の2012年の開催が予定されている。