

MOC/GRIN '89 報告

(ニューガラスとの接点を中心に)



日本板硝子株式会社研究開発室 西沢 紘一

1. まえがき

MOC/GRIN '89 とは第 2 回 Microoptics Conference と Topical Meeting on Gradient-Index Imaging Systems の合同国際会議のことである。MOC は 1987 年 10 月応用物理学会・日本光学会・微小光学研究グループが核になって東京で開いたのが第 1 回である。国内学会ではあるが国際的にはオープンとし英語を公用語として海外からの招待講演を軸にプログラムを編成ユニークな学会として注目を浴びた。一方 GRIN は 1979 年 5 月米国ニューヨーク州ロチェスター大学で第 1 回が開かれその後米国 5 回、日本 1 回、イタリア 1 回と続き、今回が 8 回目を迎えるという伝統のある国

際会議である。

この 2 つの学会をジョイントしたのが今回の国際会議で猛暑の最中 7 月 24 日～26 日の 3 日間、お茶の水の東京ガーデンパレスで開かれた。Table 1 に発表件数と参加人数を示す。250 人の規模というのは専門分野の学会として最も効率的で、3 日間で互いに顔馴染みになり親しい関係を作ることができる。このうち海外からは 12 ケ国 50 人弱が参加し国際色も豊かであった。中国からの論文が 3 件も採択され、その発表を期待していたが、会議の直前、不幸な事態が発生し、参加が叶わなかったのが残念であった。セッションと発表件数を Table 2 に示す。ポストデッドラインペー

Table 1 国別発表件数・参加者数

| 国 別 | 発表件数 | | | 参加者 |
|------|------|----|----|-----|
| | 招待 | 一般 | PD | |
| 日 本 | 1 | 36 | 4 | 206 |
| 米 国 | 6 | 10 | 1 | 21 |
| 西 独 | 1 | 3 | — | 8 |
| 英 国 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| イタリー | — | — | — | 3 |
| インド | 1 | 2 | — | 2 |
| ソ 連 | — | 1 | — | 2 |
| ベルギー | 1 | — | — | 1 |
| カナダ | — | — | 1 | 1 |
| 中 国 | — | 3 | — | 1 |
| フランス | 1 | — | — | 1 |
| イラン | — | — | — | 1 |
| 台 湾 | — | — | — | 1 |
| 合 計 | 12 | 56 | 7 | 253 |

Table 2 セッションと発表件数

| セッション名 | セッション内用 | 発表件数 |
|--------|------------|------|
| A | プレナリー | 2 |
| B | 理 論 | 6 |
| C | 材 料 | 4 |
| D | 作成技術(I) | 5 |
| E | 作成技術(II) | 5 |
| F | 受動微小光学(I) | 5 |
| G | 設計, 解析 | 8 |
| H | 評 価 | 10 |
| I | 受動微小光学(II) | 6 |
| J | 能動微小光学 | 5 |
| K | 集積微小光学 | 4 |
| L | 微小光学応用(I) | 4 |
| M | 微小光学応用(II) | 4 |
| PD | ポストデッドライン | 7 |
| 合 計 | | 75 |

パーのセッションを含み14のセッションで75件の論文が発表された。理論や材料に関する基礎的なものが42件、応用に関するものが33件とバランスもよかったようだ。今回は設計・解析・評価に関する論文18件をトピカルポスターセッションとし、対面討論を試みたが口頭発表ではフォローできない数式やグラフを前にじっくりと聞く事ができたため充実したセッションとなった。

2. セッションのトピックス

ニューガラスに関係の深いトピックスをとりあげ、いくつか紹介したい。

2.1 材料セッション

D. T. Moore氏(ロチェスター大学)はゾルゲル法を用いて3成分からなる大口径(5mmφ)GRINレンズについて発表した。1価イオンは用いず、 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 系をベースとして TiO_2 を ZrO_2 で置換していく方法をとっている。Fig. 1に示すようにスムーズな屈折率分布が形成されている。

同じくロチェスター大学のC. G. Blough氏らはガラスの組合せによる軸方向および半径方向に分布をもつGRINレンズについての収差解析を行った。

また同大学のD. S. Kindred氏は、 $\text{Ag}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ 系のガラスを用い、 $\text{Na}^+\leftrightarrow\text{Ag}^+$ のイオン交換によるGRINレンズの試作について報告した。 Ag_2O を高濃度に含むガラス(20mol%)を(50 ZnCl_2 +50 NaCl)なる組成をもつ熔融塩中に480°C、72時間イオン交換を行うとFig. 2に示すような $\Delta n=0.04$ をもつ大口径GRINレンズ(4mmφ)が得られたという。

同じくロチェスター大学のJ. E. Samuels氏らは $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系のガラスをベースに $\text{Na}^+\leftrightarrow\text{Ag}^+$ のイオン交換プロセスを詳細に調べた。塩としては $\text{AgCl}+\text{Ag}_2\text{SO}_4$ の混塩を用い最適な条件を設定するとFig. 3のようにAgの濃度とガラスの屈折率は直線関係となり Δn と1~0.15位まで得られるという。

しかもHuggins, Sun and Davis'(HSD)のモデル式とよい一致をする事も見出した。

同じくロチェスター大学のD. S. Kindred氏らは $\text{TiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Li}_2\text{O-SiO}_2$ 系のガラスにおいて $\text{Na}^+\leftrightarrow\text{Li}^+$ のイオン交換を研究、Fig. 4のような凸型の屈折率分布や凹型の屈折率分布を自由に創り出すことに成功した。

以上4件はいずれもロチェスター大学の研究である。

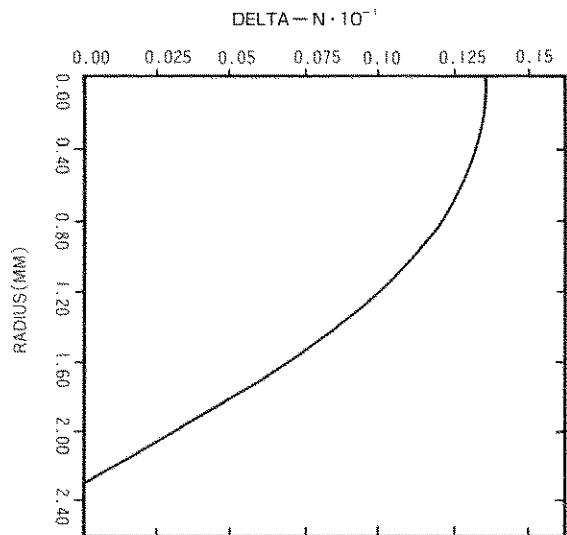
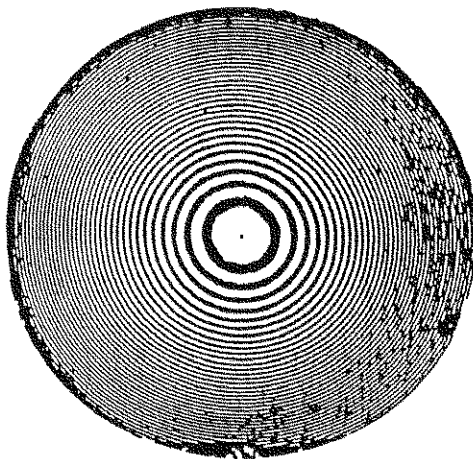


Fig. 1 ゾルゲル法で作られた大口径GRINレンズの屈折率分布

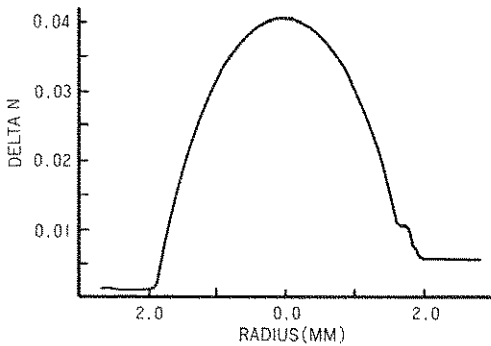


Fig. 2 $\text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Na}^+$ のイオン交換により作られた GRIN レンズの屈折率分布

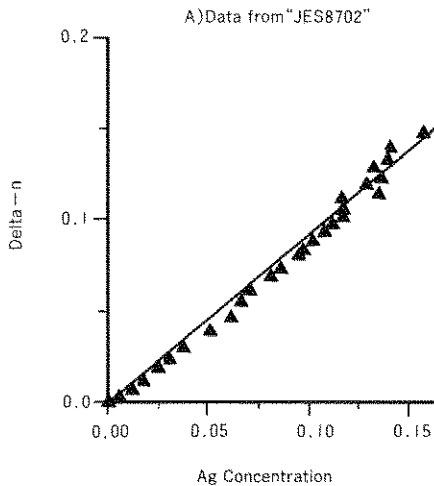


Fig. 3 塩中の Ag 濃度とイオン交換による屈折率の増分

レンズ設計、解析を主要な研究テーマとする同大学の光学研究所においても地道な材料研究が根気よく続けられている事に敬意を表したい。尚ニューガラスフォーラムでお世話になっている山根教授（東京工業大学）は、前述したロチェスター大学 D. T. Moore 教授と共同研究をされ、ゾルゲル法による多成分ガラス製 GRIN の開発に初めて成功された事をつけ加えておきたい。

2.2 作成技術セッション

1985 年ごろから研究が進化したと言われる感光性ガラスを利用した微小球面レンズ (SMILE;

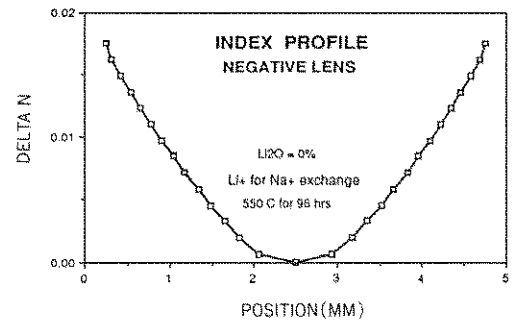
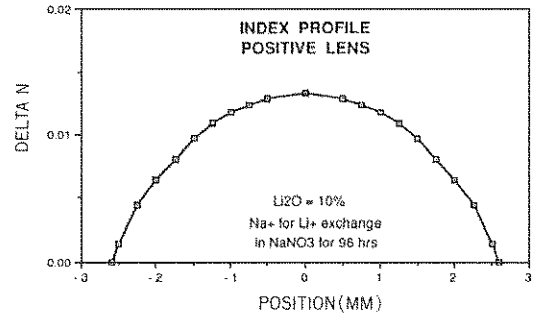


Fig. 4 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Ca}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系のイオン交換による凸型および凹型の屈折率分布

Spherical Micro-Lenses) のその後の研究成果が N. F. Borrelli 氏ら（コーニング）により報告された。

Fig. 5 に発表されている作成プロセスを示すが、全ガラスの 25% が結晶化したりシウムメタシリケート相に変わり、残ったガラス部との熱膨脹差で微小なレンズが形成される。結晶相はオバーク化するため各レンズ間のアイソレーションを可能とする。

こうして得られたアレイレンズは広い応用が考えられているという。1 対 1 結像光学系、光ファイバ結合光学系、光波分割光学系などが実用例として紹介された。

微小レンズのアレイを作る方法として M. Oikawa 氏ら（日本板硝子）は従来のイオン交換法を改良し、高 NA の低収差レンズアレイの製作に成

功したと発表した。イオン交換過程で生ずるレンズ部の膨らみをそのまま利用するもので、高 NA が実現されるのみならず、研磨工程も簡素化でき、量産化への道が開ける点に注目したい。Fig. 6 にレンズ径と NA の関係を示したが、100 μm 中で $\text{NA} \cong 0.57$ が実験的に得られたという、LD とのカプリング光学系への応用が紹介された。

変わった所では、Y. Katagiri 氏ら (NTT) が半導体レーザの端面上にイオンビームスパッタ法を用いて、 $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ 系の Graded Index 薄膜を成

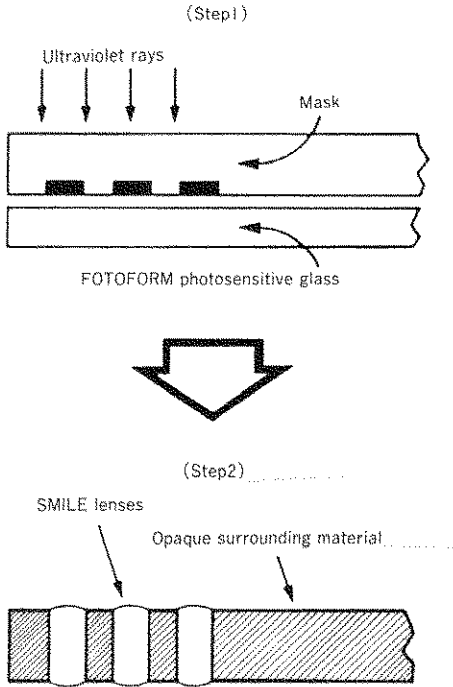


Fig. 5 微小球面レンズの製作プロセス

膜し、無反射コートを得たと報告したことである。

2.3 光導波路

A. H. Reichelt 氏ら (ジーメンス) は、ガラス基板上に、2 段イオン交換法を適用しシングルモード用分波合波器を実現したと発表した。Cs⁺ ↔ K⁺ のイオン交換を用い方向性結合器型の回路で、1.2~1.6 μm 帯において、ファイバ対ファイバ間損失 2 dB、遠隔漏話 -35 dB 以下の特性が実現できたという (Fig. 7)。

また L. Ross 氏ら (IOT) は導波路用に特別に調整したガラス基板を用意し (BGG 21 または BGG 31 と呼ばれている) Cs⁺ や Ag⁺ の拡散を利用して導波路を形成した。

BGG 21 は $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ 系、BGG 31 は $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ 系が基本組成で、一部酸素が弗素に置換されている。イオン交換は熱拡散または電界印加下の拡散により実行される。現在は BGG 21 組成に Cs 拡散がシングルモード

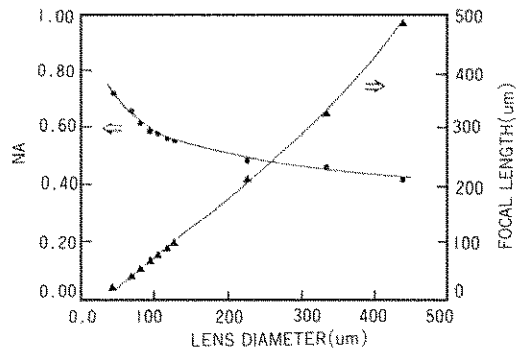
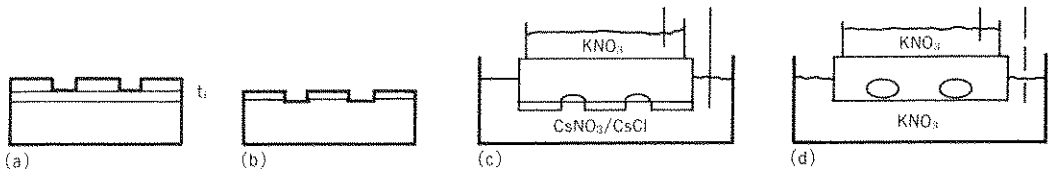


Fig. 6 平板マイクロレンズの NA とレンズ径の関係



- a) Ti evaporation ($t_i = 300\text{nm}$), photolithographic process
- b) Ion beam etching
- c) Cs⁺ - exchange (CsNO_3)₆₀ / (CsCl)₄₀, $E = 30\text{V/mm}$, $T = 380^\circ\text{C}$, $t = 35\text{min}$
- d) K⁺ - exchange KNO_3 $E = 20\text{V/mm}$, $T = 435^\circ\text{C}$, $t = 100\text{min}$

Fig. 7 イオン交換による光導波路製作プロセス

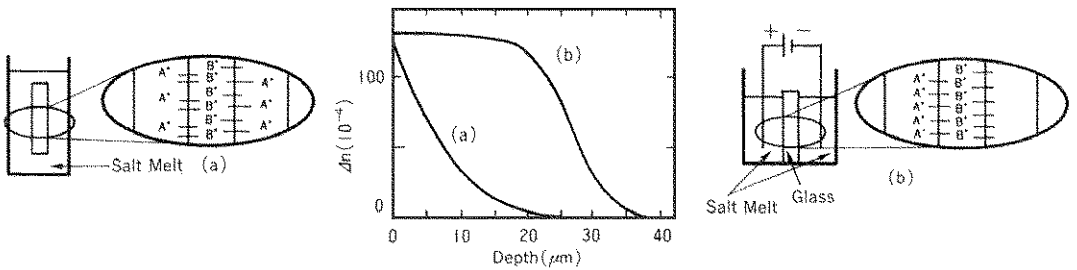


Fig. 8 イオン交換による光導波路の製作プロセス
a) 熱拡散 b) 電界印加

用として試作しているという (Fig. 8).

こうして製作されたイオン交換光導波路デバイスは光センサとしての応用に力を入れており、マッハツェンダー型光集積型センサの紹介がなされた。屈折率の変化を 5×10^{-5} のオーダーで検知できるという高感度を実現できると結んだ。

光導波路の研究はガラスのみならず LiNbO_3 、化合物半導体などで盛んに行われている。光集積回路を実現していく上で最も基本的な技術であるという理由による。

3. まとめ

MOC/GRIN '89 の中でもニューガラスの活躍する場は広くて深い。ファイバ、導波路、薄膜などにおいて今後ガラスに要求される特性は、大型化、均質化、低コスト化の他に機能をもつことも挙げられる。その代表例が現在ホットな話題となっている光ファイバレーザである。Nd や Er イオンをドープしてレーザ発振をさせ、光源やアンプ

としての応用研究が活発化している。もう 1 つの例が非線形ガラス材料であろう。3 次の非線形効果を用いた超高速光スイッチや双安定素子などニューガラスの活躍が期待されている分野である。

MOC/GRIN という研究領域とニューガラスを中心とする材料研究の間の境界をなくしていく努力が必要であることを訴え、今回の国際会議の報告を結びたい。

〔筆者紹介〕

西沢 紘一 (にしざわ こういち)

昭和 42 年 京都大学工学部工業化学科修士課程卒

昭和 42 年 日本板硝子働入社

昭和 56 年~58 年 勸光産業技術振興協会出向

現在 研究開発室主席技師、技術士 (応用理学)

光ファイバ、イメージバンドル、マイクロオプティックス、光ファイバセンサなど一貫して光関連の研究に従事