

研究評価委員会
「三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」(事後評価) 第1回分科会
議事録 案

日 時：平成23年6月23日(木) 12:50～18:20

場 所：大手町サンスカイルームE会議室(朝日生命大手町ビル24階)

<分科会委員>

分科会長	矢澤 哲夫	兵庫県立大学 大学院 工学研究科 物質系工学専攻 教授
分科会長代理	栖原 敏明	大阪大学 大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授
委員	角野 広平	京都工芸繊維大学 大学院 工芸科学研究科 物質工学部門 教授
委員	近藤 泰志	株式会社島津製作所 分析計測事業部 技術部 新事業開発推進グループ グループ長
委員	丹羽 達雄	株式会社ニコン 新事業開発本部 主幹
委員	三澤 弘明	北海道大学 電子科学研究所 所長・教授
委員	横尾 俊信	京都大学 化学研究所 教授

<推進者>

中山 亨	NEDO電子・材料・ナノテクノロジー部 部長
前川 一洋	同上 統括主幹
桐原 和大	同上 主任研究員
坂井 数馬	同上 主査
山田 宏之	同上 主査
吉木 政行	同上 主幹

<実施者>

平尾 一之	京都大学 大学院工学研究科 材料化学専攻 教授 (PL)
三浦 清貴	京都大学 大学院工学研究科 材料化学専攻 教授
原 勉	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 取締役 中央研究所長
伊藤 晴康	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 専任部員
野崎 健	浜松ホトニクス株式会社 営業本部 主幹
牧野 謙二	浜松ホトニクス株式会社 産学官連携部 部長
鈴木 勇紀	浜松ホトニクス株式会社 産学官連携部
上杉 勝之	社団法人ニューガラスフォーラム 専務理事
田中 修平	社団法人ニューガラスフォーラム つくば研究室長
外池 正清	社団法人ニューガラスフォーラム 研究開発部長 兼 三次元光デバイス 経理担当部長
大原 和夫	株式会社オハラ 研究開発第二部 素材開発課 課長
佐藤 保彦	富士フイルム株式会社 光学デバイス事業部 レンズ加工グループ 部長
横井 賢二	ナルックス株式会社 取締役総務部長

<総務企画部>

田島 義守	NEDO 総務企画部 課長代理
-------	-----------------

<事務局>

竹下 満	NEDO 評価部	部長
寺門 守	同上	主幹
梶田 保之	同上	主査
吉崎 真由美	同上	主査

<オブザーバー>

尾畑 英格	経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課	課長補佐
宮内 光弘	同上	係長

一般傍聴者 1名

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法及び評価報告書の構成
4. プロジェクトの概要説明 (公開)
 4. 1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」
 4. 2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」
 4. 3 質疑
5. プロジェクトの詳細説明
 5. 1 デバイス化加工用ガラス材料技術
 5. 2 三次元加工システム技術
 5. 3 三次元加工システム応用デバイス技術
 5. 4 実用化の見通し (非公開セッション)
6. 全体を通しての質疑 (非公開セッション)

(公開セッション)

7. まとめ・講評
8. 今後の予定
9. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会 (分科会成立の確認、挨拶、資料の確認)
 - ・ 開会宣言 (事務局)
 - ・ 研究評価委員会分科会の設置について、資料 1-1、1-2 に基づき事務局より説明。
 - ・ 矢澤分科会長挨拶
 - ・ 出席者 (委員、推進者、実施者、事務局) の紹介 (事務局、推進者)
 - ・ 配布資料確認 (事務局)
2. 分科会の公開について
事務局より資料 2-1 及び 2-2 に基づき説明し、議題 5. 「プロジェクトの詳細説明」を非公開とすることが了承された。
3. 評価の実施方法及び評価報告書の構成
評価の手順を事務局より資料 3-1～3-5 に基づき説明し、了承された。
また、評価報告書の構成を事務局より資料 4 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。
4. プロジェクトの概要説明
 4. 1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」
推進者より資料 6-1 に基づき説明が行われた。
 4. 2 「研究開発成果」及び「実用化の見通し」
実施者より資料 6-2 に基づき説明が行われた。

4. 3 質疑

【矢澤分科会長】 NEDO電子・材料ナノテクノロジー部中山部長から「事業の位置づけ・必要性」の説明、NEDO電子・材料ナノテクノロジー部坂井主査から「研究開発マネジメント」の説明、PLの平尾先生からの「研究開発成果」及び「実用化の見通し」の発表に対して、何かご意見、ご質問等がございましたら、今からお受けさせていただきたいと思います。

【栖原分科会長代理】 ガラスという材料は、昔もいまも非常に大事な光学材料であることは間違いなし、フェムト秒パルスレーザー加工は非常にユニークで、ポテンシャルの高い可能性のある方法であって興味深いし、役にも立ちます。このプロジェクト研究は、内容としてはこれまでの長年の経験の下に培われたシーズ志向でやってこられたと思います。一方、NEDOプロジェクトとしては、その背景のご説明がありましたようにIT関係を中心として、ニーズがある。その中で本当に役に立つものをどういうふうに効率良く製造するか、そこがこのプロジェクトのポイントだと理解します。単に学術的に興味深いということだけではなくて、いま言ったような観点から見て、根本的なことを質問させていただきたいと思います。フェムト秒で加工するという特色ある方法は、非線形過程で、遅かったり、弱かったりすると起こらない現象です。絞り込んで1点でスキャニングしてものをつくるのに比べて、ホログラムのようなもので分散して広い体積に光を当ててということになると、強度密度が下がりますので、はたして本当に高能率化ができるのだろうかという根本的な疑問があります。このあたりは前からわかっていたものか、あるいはこのプロジェクトで明確化されてきたのか、お教えいただけますか。

【平尾教授PL(実施者)】 どちらかという技術的な問題で、原研究所長にお答えいただいたほうが良いかと思うのですが、当初は、やはりレーザーを当てたところがイオン化とかマルチフォトンプロセスによって非線形過程でいろいろな現象が起きたことから出発しています。そのときにわれわれが考えたのは、そのエネルギーがほとんど無駄に使われている。1点で使われてマルチフォトンになっても使われているということで、これは多点ビームにしなればいけないというのはもちろんありました。しかし多点ビームにするためには、空間変調器がフェムト秒レーザーによって耐久性がないという問題などでそれほどはできないのではないかと感じていました。もし耐える空間変調器があれば、それは十分耐えるという計算は当初からしていました。結果として、先ほどもエネルギーをどこまで効率よく使えるかという話をしておりましたが、それは殆ど使えるという話になっていたと思います。

【原研究所長(実施者)】 このプロジェクトが始まるかなり前の、昔のフェムト秒レーザーも、結構強度が強くて、1点を加工する場合には、レーザー全体のエネルギーは必要ありませんでした。それをスキャンしていますから、私が始める前に先生方がやられていたものは、非常にもったいないことをやっていたと思います。それを100点ぐらいに分けても、1点1点は、ガラスも1層つくるには十分なエネルギーだということが、プロジェクトが始まる前にわかっていました。だとしたら、100点に分けるような良い方法がないかということで、ホログラムがあり、固定のガラス・ホログラムで分けるというのが一つあります。

それからもう一つは、自由にホログラムを描き換えれば、状況に応じた任意のパターンが描けるのではないかということで、私どもがやらせていただいた空間光変調器があります。いま平尾先生がおっしゃったように、そのときに通常の1点で加工できるエネルギーの100倍ぐらいのパワーのレーザーがデバイスに来ます。それでやられてはいけないということで、私どもの使命としては、そのような強いレーザーが当たっても、それをホログラムを描いて100点に分割できるようなデバイスをつくることで、それをやらせていただいたということです。

【栖原分科会長代理】 そうすると、いわば以前は1点収束で使われているフェムト秒レーザーのパワーが余っていた。不必要に強力なレーザーが利用できたので、それを分散して使うということですね。

もう少しマネジメント的なことをお尋ねしたいと思います。先ほどのような観点ですと、具体的な応用について、この方法だけが可能になるというのはないように思われます。実用化も含めて既存や開発中の技術との競合があると思いますが、たとえばインターコネクションはかなり研究されていて、ものもできているし、光通信用の光集積回路も実用化も含めてたくさん開発されている。もちろんその分野の中で何にでも使えるというものではなくて、本当に意義のある、価値のあるものをこのプロジェクトは目指されていると思います。そうだとすると、同じ方法で以前より改善されたというのではなくて、競合技術や現技術トレンドと比較してどうなのかを見定めながらプロジェクトのマネジメントをされると思います。このプロジェクトの継続期間中に、そういうことで見直したこと、あるいは重点化したことはありますか。

【平尾教授 P L (実施者)】 サブリーダーの方、それぞれ皆さんお持ちですが、まず私が最初にお話しし、あとは順番に話していただきます。

私が一番思ったのは、やはり光インターコネクションです。これはたとえばコンピュータに光ファイバーが入ってきたときに、直角に上に上げないといけないわけですが、このときにほとんどの企業の方はレンズを使うなど非常に複雑なので、少しでも振動があったら、それがつぶれるということがありました。

それで最初に三浦教授を中心にやったのが、ガラスに45度のところに描いて直角に上げたことで、これは実用化しました。これは先ほど言ったバックプレーンのところに直角にできるということで、フェムト秒レーザーで描いた直角のものを入れるだけで直角に曲げることができました。それで今までいくつかの部品を組み合わせて光を直角に曲げるのを、そのガラスの中だけで曲げることがまず最初にできて、それでわれわれは意を強くしました。

それ以外にも調べると、プリズムと導波路を組み合わせて、そこに接着剤を使うとか、複雑なものをいろいろ作られてきたのですが、それを一括して作ってくれということで始めてきたのが光の導波路に関することです。

また、例えば非線形の光学結晶などに光を持ってきて出すときにも、いままでは光の導波路と非線形光学結晶を結合させてからやっていました。それを一体化して出すことでグリーンを出すことなど、いろいろやってきました。どちらかというと部品の数を減らすというよりも、部品を一体化して一括加工するというところに、まず重点を置いてきました。それからいろいろなことがわかってきました。

【田中研究所長 S L (実施者)】 パワーポイントを見ると、逐次の場合は当然このように描かれますが、精度が落ちるのではないかというのが一つありました。1点1点描くと、どうしてもきれいな形になりませんので、精度を上げるためにホログラムによって一括加工をやりたいという目的がありました。例えばこれですが、1回で描くと次のドットとの間にビームがふらふらしますが、そういうものも止まる。ステージを動かさないといけないわけですが、そのステージを動かさなくても精度よく描ける。そういうものを考えたわけです。

次に非常に重要なご質問ですが、レーザーで1点を描くときのエネルギーは、1W程度だとすると、だいたい10分の1、100分の1ぐらいのエネルギーで済むと思います。それをたとえばホログラムのようなもので描くならば、エネルギーは足りないという話になってくるかと思います。この点に関しては、最近ではレーザーのパワーがどんどん上がってきています。昔に比べると十数倍は上がっていますから、それを使うとホログラムを使って一括で描くことが可能になります。しかもこのようにスムーズに描ける。この2点から、われわれは一応これを選びました。

【原研究所長 (実施者)】 栖原先生のご質問は、導波路などのデバイスではいろいろなコンペティターがあって、それに対してどういうふうにかえるかということでよろしいですか。

【栖原分科会長代理】 そのとおりです。私はいろいろな方式を承知しています。このプロジェクトでそう

いうものに対して、どういうところに重点を置いて競争力の高い技術を創成するために努力されたのですかという質問です。

【原研究所長(実施者)】 確かに導波路にはいろいろなやり方があったので、弊社としては参画するときにアウトプットイメージをどうしようかといういろいろ考えました。今回のプロジェクトに参画するときに弊社にとってアウトプットイメージとして一番良いと思ったのが光ICです。ICといっても導波路ももちろん通信ではあるのですが、弊社は特に通信関係はあまりデバイスとしてやっておきませんので、そうではなくて実際のマイクロオプティクス、その光学系ではレンズやグレーティングがガラスの内部に小さいものがポンポンとできてしまいます。もともと私の専門は光情報処理関係でしたので、たとえばフーリエ変換を画像一括して中でできてしまいますので、そういう小さな光学部品ができれば今後すばらしい光回路ができるのではないかと考えました。それでそれに従ったような方向でやってこられたのではないかと思います。

【三澤委員】 加工の方法が、すごく省エネになるといううたい文句だったと思います。先ほどのご説明では、1点ずつ加工した場合とホログラムを使った場合で、かなり省エネになるということでした。基本的に1点ずつ加工して、たとえば100点描いたとすると、ある領域に投入したエネルギーがトータルで出てきます。ホログラムの位相マスクを使ったときに、トータルで入ったエネルギーは、それが100分の1になるということでしょうか。このところは非常に大事で、要するに基本的に描けるというのは、吸収断面積によって決まるわけですが、それはどちらがどのくらい有利なのか、そこでは決まらなと聞こえたのですが。

【田中研究所長SL(実施者)】 この前の図ですが、ここで1点を描くエネルギーは、例えばこういうものを描く場合に、この1点に相当しているわけです。

【三澤委員】 でも機械で描いている場合には、加工分解能は光の波長で決まるわけです。この場合、非線形加工をやっているんで、もちろんそれよりは小さくなると思いますが、基本的には光の波長と何光子過程で描いているかによって決まってしまう。だからそれは1点で描こうが、ホログラムで描こうが、そのところは同じだと思うのですが。

【田中研究所長SL(実施者)】 そのときに、ホログラムで1点だけ描くのであれば、同じことだと思います。ホログラムの場合には、1点ではなくて、たくさん描くわけです。例えば100点ぐらいを一気に描くということで、エネルギーを捨てないで全部使ってしまうということです。

【三澤委員】 多光子吸収の場合には、基本的には殆どのフォトン、ホログラムであろうと1点加工であろうと、ほとんど捨てているわけですね。

【田中研究所長SL(実施者)】 そうですね。そのときに、どういう捨て方をするかということです。それは材料内部で捨てるのではなくて、その前の段階で、たぶんNDフィルターを入れて捨てるわけです。そうしないと材料が焼けてしまいますから。

【三澤委員】 もともと弱いレーザーを使えば、NDフィルターを使わなくても良いことですね。

【田中研究所長SL(実施者)】 要するにレーザー光が1W出たとすると、それがガラスの内部に到達するのは0.1Wで十分だったということです。では0.9Wはどこに行ったかということ、ガラスの内部に入らないで、どこかでロスしているわけです。それが今までの加工法です。

【三澤委員】 通常は、1点で加工した場合には、殆どのフォトン、材料を通過して外に出て行ってしまったという理解ですね。それは1点で加工しようが、ホログラムで加工しようが、それは同じではないですか。

【田中研究所長SL(実施者)】 いえ、ただ1点の加工をするときに、その1点を通るエネルギーは、あるエネルギーでないといけないわけです。あまり大きいと損傷を起こします。そうすると光の強度を適当なエネルギーで止めるわけです。あまり強いと、そこは蒸発してしまいますから。

【三澤委員】 技術的なことなので……。

【三浦教授（実施者）】 三澤先生がおっしゃるとおりに、レーザーが強ければ弱い光を使えばいいということです。たとえば繰り返し周波数を上げて、パルスエネルギーを落とせば、もちろん高速で描くことができるので、たぶん同じような効果が出ると思います。このホログラムを使って、たとえば1点を100点に分けて効果がある場合は、例えば1パルスでは加工ができない、そういった変化で数秒当て続けなければいけないとか、そういった場合は、繰り返し周波数を上げて、ガルバノなどを使って高速で動かすよりは、ホログラムで点数を増やしておいたほうが効率が良いということだと思います。

【三澤委員】 ただ加工に必要なフォトンエネルギーは、基本的に同じだと思います。

【三浦教授（実施者）】 エネルギーに関しては同じです。おっしゃるとおりです。

【三澤委員】 だから言っておられるエネルギー効率が非常に高い加工になっているというのが、ちょっと理解できないのですが。

【三浦教授（実施者）】 一定時間当てて加工するものに関しては、スループットを上げることができるという解釈をしていただいたほうが良いと思います。構造を変化させるのにホログラムを使うことで、エネルギーが有効に使われているということではありません。

【三澤委員】 なるほど、わかりました。加工として、エネルギーコストが非常にいいということであれば、たとえば電気エネルギーをフェムト秒レーザーの発振効率に変えて、何%かという計算はできます。さらにその多光子吸収でどのぐらいフォトンを損失しているかということで、たぶんトータルに描き込みに使われたエネルギーが投入エネルギーの何分の1になっているかというのは出ると思います。それは通常の加工方法と比べて、どのくらい良いのかというのが、先ほどのご説明ではよくわからなかったのです。その辺のバランスはどうなっているのですか。レーザー加工は、もちろんフォトンコストが高いと言われていて、それが良くなったとおっしゃいましたが、投入エネルギーに対して最終的に加工できたもののエネルギーバランスはどうでしょうか。

【田中研究所長 S L（実施者）】 それはホログラムであろうと、通常のレンズ加工であろうと、まったく同じだと思います。

【三澤委員】 それがどのぐらいの割合、何%ぐらいの効率で描けているのですか。

【田中研究所長 S L（実施者）】 使うレーザーによっても違うと思います。非常に高出力のレーザーを使うと、そのほんの一部で1ドットできるのですが、ということは、ほかは捨てないといけないわけです。1ドットをつくる以外のエネルギーは捨てないといけない。そういう違いだけだと思います。光の利用効率ですが、段数の多いホログラムを使うとだいたい90数%いきますから、それはあまり考えなくても良いのではないかと思います。

【三澤委員】 投入された電気エネルギーに対してどのぐらいのコストで加工できているか、最終的にそのエネルギー効率ですが、たとえば機械加工に比べてどうなのですか。

【田中研究所長 S L（実施者）】 それは計算していません。

【三澤委員】 わかりました。

【角野委員】 研究体制のことでお尋ねしたいのですが、京都大学と集中研と浜松ホトニクスさんでやられていて、集中研の中には何社かが入っているというかたちになっています。企業として浜松ホトニクスさんが直接委託でやられているのは、プロジェクトの必然的な理由があったという理解でよろしいでしょうか。

【原研究所長（実施者）】 立ち上げの前から、先ほどお話がありましたように空間光変調器、E C O S - S L Mは、弊社で研究から開発までできており、弱いレーザーに関する S L Mは既に中央研究所で少しづつ外にお出ししていた段階でした。それを今度、フェムト秒レーザーにも耐えるようにしようというフェーズでしたので、弊社にも装置などすべて整っていました。「新たに全部また買っていただければ

ばいい」という話もしたのですが、なかなかそこまで予算もありませんでしたので、では持ち帰りで弊社だけでやろうということやらせていただきました。

【矢澤分科会長】 これは全般的な質問ですが、そもそも論で、いま材料としてガラスを選択されています。特に熔融したガラスですが、これはたとえばレーザーの強度を落とすとか、機械的な安定性、寸法安定性もあるでしょうが、この方法は熔融ガラスでないといけないのか。あるいは透光性のプラスチックなどがありますが、そういうものにも原理的に適用が可能なのか。あるいは熔融ガラスでやると、本質的に非常に優位で、それは超えられないのか。基本的なファンダメンタルなところのご見解をお願いしたいと思います。

【三浦教授（実施者）】 このプロジェクトが、もともとナノガラスプロジェクトというところから来ているので、材料がガラスということになっています。ここでは研究内容が違うのでお話しはできないのですが、ガラス材料以外の半導体材料、あるいは酸化物単結晶、場合によっては金属、溶液中に分散させた有機物や無機物、それらへの照射によっていろいろな現象が起こることは確認しています。

ナノガラスプロジェクトも、三次元の当該プロジェクトも、異質相という言葉がよく出てきますが、それは密度変換による屈折率の変化をうたっております。実はガラス材料にレーザーを照射したときに起こる現象は、単純な密度変換以外に、たとえば多成分のガラスでは組成分布ができますし、特定の領域を結晶化させるとか、あるいは価数を変化させる、金属イオンを還元してナノ粒子として析出させるとか、そういったことがいろいろできます。

先ほどのマネジメントの話にも関係してきますが、一つこのプロジェクトの目標としてガラスを使った三次元光デバイスを挙げていますが、そういったいろいろな現象を利用すればガラス材料だけでも、特に通信ということにこだわらなくてもいろいろな応用が見えてくるのではないかと個人的には思っています。

【矢澤分科会長】 ということは、ほかの材料でもできるのだけれども、特に熔融したガラスは、大きな優位的な材料の差があるというのが基本的な考えですね。

【三浦教授（実施者）】 そうです。熔融したガラスは、いろいろなイオンを組成にアナログ的な変化をもたらすことができますので、その変化によって少しずつ物性が違ったものができるという意味で熔融ガラスを用いています。当然、合成石英なども、そういった意味では同様にやっています。

【矢澤分科会長】 わかりました。もう1点、マネジメントのところで非常に多彩な成果を挙げられていますが、教育的な見地からの成果、普及に対して何かありましたらお聞かせいただきたいと思えます。

【平尾教授PL（実施者）】 私も大学にいますから、もちろん教育が非常に重要であり、NEDOさんが第1号としてこういう光に関してNEDO講座をつくっていただきました。研究室とは別に予算をいただいてスタッフや技術の人を集めています。世の中には電気や化学の学科はありますが、実は京都大学にはレーザーを本格的に教える人たちがいなかったもので、光学科ということで、ガラスも含めて、特にフェムト秒レーザーの使い方とかピコ秒、ナノ秒、そういう装置も一緒にうまく活用して、いろいろな産業界の人たち、大学の人たちを教育するプログラムをつくりました。実は300人以上が卒業されており、それに対して認定を与えました。お陰様で、それで大学や企業のいろいろなポストに就く人材を育てました。

この間NEDO講座の評価委員会があったのですが、そちらでは非常に評価されて、しかもそこから三浦研究室もできましたし、よその研究室もできました。光の加工に対して非常に広がっていったということで、最先端光加工技術のプラットフォームができました。いま日本のいろいろな企業の人たちも送り込んで来られて、それを育てていきました。

今まで機械加工はいろいろな人たちが教えることはできたのですが、光を産業界に持っていくことは殆どできなかった。光の先生がいらっしゃるところで、あまりそういうことを言うてはいけな

すが、光は物理的に観測などに使っていましたが、光で加工して何かをしようということは、大学では殆どやられていなかった。企業でもそれが足りない状況です。

私は最近、特にガラス企業の社長などともよく会うのですが、うちにはレーザー加工をする人間が一人もいないので、どこかにいたらぜひ紹介してほしいという要望があります。それにはたくさん紹介できます。ですから世の中は機械から光加工に行ったときに、それに対応するようなことをここでやりました。

先ほどの三澤先生のご質問ですが、それに対して機械と光とがどのぐらい優位性があるかということですが、少なくとも精度に関しては光の方が優位であるし、内部確保もできる。エネルギーもまだ計算していないと申しましたが、実はこれは計算しておりまして、これまでフォトン効率は5%ぐらいと言われていましたが、これを20%ぐらいまで上げることが一応できています。機械の2~3倍はいける。特にレーザーを今まではフェムト秒ではなくてナノ秒とかで、溶接などもほとんど溶解して加工しているのが殆どでした。フェムト秒で高密度で加工した例は殆どありませんでした。そういう観点を局所的にやると、効率が良いことがわかりました。

今までは格子振動、パイブレードして、その熱によってやっているの、ほとんど熱エネルギーとして奪われていたわけですが、今回は電気エネルギーがそのまま加工に使えます。そういう意味で機械から光の時代に移ったときに、対応できる人材は育てられたのではないかと考えています。それはNEDOさんがそういうかたちでやっていただけたからで、NEDO講座はその後もいろいろ続いていますが、この前は非常に高い評価を得られました。

【横尾委員】 このプロジェクトの究極の目標は、あそこにあるような三次元光デバイスを、しかもアクティブ素子も入ったものを作るといことだと思のですが、今回個々に出していただいて当面の目標に対しては、すべて達成できたということですね。最終目標に対しての目標ではないのですが、この一括加工は、どういう方法でやるかは別として、最初から考えていたのですか。

【平尾教授 P L (実施者)】 ナノガラスプロジェクトは、ガラス全般でディスプレイの泡を徹底的に減らすこととか、今はガラスが20 μ ぐらいの薄さにまでなっています。またガラスの中にいろいろな機能をつけてやった。たくさんありすぎて言えないのですが、オールガラスの業界が集まってやって、みんな持ち帰ってそれがいまいろいろ伸展してきています。

そのうちのひとつとして、レーザーで光加工をやりたい。これとは少し離れますが、特に先ほど少し申し上げたレーザーで封止をしたいとか、レーザーでガラスを切らないといけなくて、そういう問題もたくさん出てきました。そうしたときに、1個1個やっているのは産業には対応できないのではないかという話が出てきた。それなら一括でしなければいけないということが当面の目標です。

ただ、もう少しターゲットを絞らなければいけないということで、光導波路がわれわれの中では一番にありました。スプリットをさせたり、三次元的に非常に複雑なものは、従来のイオン交換法ではできない。また今までやっていた光ファイバーを貼り合わせるやり方でも全然だめだということで、この方法は、とりあえずやってみようということでスタートしたわけです。

当初の目的は、そういうところから来ているので、最終的には横尾先生がおっしゃったように、この中に光スイッチの非線形の部分を析出させてスイッチも入れたり、この中で波長変換の素子を析出させてやりたいとか、そういうことももちろんあるのですが、あまりそちらのほうにばかり行くと基礎的な精度などきっちりしたところができなくなる。やった結果こういうのが1個できたというだけではなくて、やはりわれわれは技術のプラットフォームをきっちりやらないといけなくて、

この0.015以上の屈折率差はこれで上げられるとか、何センチの光導波路はこれで確実にできるとかというものをやる。ガラスが一番良いのは、非常に透明ですから光ファイバーとしていま使われており、そういうところに光導波路の損失が少ないものを作る。そういうことをきっちり押さえて上で、

それを応用するというコンセプトで、目標としてはそこをクリアしない限りは次に進むべきではないというのが、私の考えでした。

それに関しては達成できたので、今後は三次元の一括のアクティブを入れるとか、これは次の若い方がおやりになったらいいし、やれると思っています。ただ、その前にあやふやなところで進んでしまうと、そのあとが続かない。フォトン効率なども、閾値の問題と、繰り返し周波数と、与えたエネルギーと、その辺のすべてのバランスの上の空間変調器で、最適化を行っているわけですから、これはかなり高効率のものになっていると考えています。

ですからプラットフォームができたと考えていただいて、これですぐに応用とは思っていません。ただここまで来たら、次は早いと、私は思いたいし、信じたいところです。

【横尾委員】 ホログラムを最初から使おうということでしたが、思った以上の効果がある。

【平尾教授 P L (実施者)】 あったということです。後ほどビデオで見ただけだと思います。皆さん半信半疑だと思いますが、実際にあとで具体的な例を見ただけであれば、それで証明できるのではないかと思います。もしもそれで思われなければ、やはりこの評価は悪いということだと思います。

【横尾委員】 これは後で伺った方が良いのかもしれませんが、最終目標に関して、ここまでやってきて、これまで開発した技術を使って、三次元光デバイス集積回路なるものが、本当にできるのかどうかが見極められるのではないかと思います。

今までは、かなり希望もあったと思うのですが、これからは実際に外部から物質をそこに注入することができない。つまり最初から全部オールインワン、必要なものを中に全部入れたガラスか何かを使わなければいけないのですが、それが本当にできるのでしょうか、あるいはそれに対する何らかの展望を持ち得てきたのでしょうか。

【平尾教授 P L (実施者)】 まさにそこです。ナノガラスプロジェクトでは接合に力を入れました。いろいろなガラスをスライスして、多様な種類の組成をやりました。それをある溶液中で温度と圧力をかけながら、全く界面をなくすことに成功しています。だから接合、ガラスとガラスの界面なくして接合する。しかし、それでも連続体ではありません。いろいろなブロック状のものが界面を無くして接合しているという状態です。しかしそこに注入すれば、ある程度のところではできる。それをさらに詳しくやる。接合や切断、界面などの技術を非常にやっているということです。接合に関しては、既にできていて、プリズムの半分を割って、くっつけて、P波とS波を分けるような素子は成功してできています。偏光プリズムはナノガラスで作っています。そういうことで接合は非常に重要です。それはSEM像やTEM像を見ても界面がないような、要するにガラスとガラスを化学反応させて界面をなくすことをやっています。

ですからあの中でいろいろな素子を分けることはできるわけです。それを1個1個描いてやるとバラバラになるので、それを一括であるエネルギーを注入して、これは非線形の結晶を析出させる、ここは光導波路の閾値にあるようにするとか、そういうふうにビームを分けてやる。そのためには、この方法しかないということです。

【田中研究所長 S L (実施者)】 いまの横尾先生のご質問で、ナノガラスのときの成果を一つだけご報告します。それは通常のメルトしたガラスを使うと、その組成だけで決まるわけですから、その組成以外の特性を出すのは非常に難しい。われわれはナノガラスのときに、多層膜をつくりました。原子層ぐらいで多層膜をつくり、その多層膜の成分を、たとえば層ごとに変えて、そこにレーザー光を当てて新しい物質をつくる。あるいはそこだけをウェーブガイドにするとか、そういうことをやりました。場合によっては化合物半導体が出るように、化合物半導体の基のレイヤーもつくりました。

そういうことをやりましたら、いま通常のメルトのガラスにフェムト秒レーザーを当てると、だいたい0.01とか0.015が屈折率差デルタで一番大きいところだと思います。それでやると、屈折率で1.1

とか1.2が得られる。ということで、そういう新しい組成でガラスをつくると、もっと新たな機能が出るのではないかと考えています。ナノガラスのときは、そこで止めましたが、それらを発展させれば、そこでアクティブな素子もできてくるのではないかと考えています。

【平尾教授P L (実施者)】 そのときに1点で描いているとできなかつたけれど、一括でやると平面上でコーティングができるということで、ぜひともこの方法は必要だったのです。必要に迫られてこのプロジェクトが始まったとご理解いただきたい。詳しい技術については、あとで説明致します。

【栖原分科会長代理】 一言コメントしたいと思います。ガラスおよびフェムト秒加工は、非常に素晴らしい材料技術であることはもちろん疑いないわけで、またこのプロジェクトでもたくさんの方の素晴らしい知見が得られていると思います。ただ、ほかの技術と比べるとという点では、いままご発言の中でファイバーは全然だめだとか、導波路も他の方法もあるけれども、ということが私には大変引っかかります。というのは、このガラス、フェムト秒、もちろん良いこともたくさんあると思いますが、すべて良いわけではなくて、いろいろ一長一短です。既存で実用もされているものもある中で、本件は、どちらかというバラ色の未来はあるにしても、まだ発展途上ということだとすると、現在の技術ももう少し妥当な認識をする必要があるのではないかと考えています。

【平尾教授P L (実施者)】 光ファイバーはだめということではなくて、光ファイバーで回折格子を作って使えば、1本1本やっているものがあつたわけです。それを光導波路でフェムト秒レーザーの描き方を変えて、それに置き換える。要するに置き換えるというところの話です。

【栖原分科会長代理】 本当に置き換えてどういうメリットが出るのかということをお話しいただきたいと思います。すでにAWGなども実用されていて、量産性のある高性能なものがつくられている現状があります。

【平尾教授P L (実施者)】 そのときにそれを製造している企業が、ナノガラスに参入して、一応レーザー1点描画で描かれていたのですが、それを一括加工で描ければ、そちらのほうが絶対メリットがあるというベースがあつたわけです。ですからおっしゃるように競争になってくるわけです。それに対してこちらのほうが効率が良いということです。

最初は、光導波路でイオン交換でやっていたのを、いまのようにファイバーをきれいにビシッと高速化でやる。その会社の人たちが1点でやったのではだめだということで、一括でやれないかと、そういう意見がたくさん来たためにコンペティターのようなかたちでこれを進めてきました。

何もないところからこれが来て、既存技術で良いということではなくて、これをもう少し改良して高効率製造技術はないかという人たち、オールジャパンのガラスの人たち、その当時ファイバーの人たちがここに集まって考えてきた結果、このプロジェクトが始まったと理解していただきたいと思います。ファイバーはだめと言っているわけではありません。それを使つたいろいろな技術に比べて、もっと良いものがないかということをやつてきたわけですが、そういう回答で宜しいでしょうか。

【栖原分科会長代理】 時間もまいりましたし、また具体的にはまた後で聞かせていただきたいと思います。

5 プロジェクトの詳細説明

【坂井主査 (推進者)】 次にガラス材料のところを説明する予定でしたが、急遽加工システムを先に説明したいという実施者のご意見がありました。申し訳ありませんが、LCOSの説明を先にさせていただきますのでよろしくお願いします。

5. 1. 1 「研究項目②三次元加工システム技術」(3) 空間変調器三次元システム技術」について実施者より資料7-2-3に基づき説明が行われた。

5. 1. 2 質疑

【栖原分科会長代理】 LCOSの開発は大変大きな仕事だと思います。このプロジェクトは以前からやっ

ておられたと思いますが、NEDOプロジェクトでどのような改善、拡張がなされたのかお聞きしたい。先ほど本プロジェクトで蒸着装置、薄膜を改善して光耐性を高めたと言いました。このプロジェクトが始まる前は、どの程度の強さだったのですか。

【伊藤専任部員（実施者）】 このプロジェクトが始まる前、すでに開発していた製品の結果がこちらです。

【栖原分科会長代理】 その従来品は御社のものですね。

【伊藤専任部員（実施者）】 そうです。

【栖原分科会長代理】 そのほか画素数が増えたとか、このプロジェクトでより進展したところは耐性以外に何かありますか。

【伊藤専任部員（実施者）】 まず一つは、応答速度です。確かな数字ではありませんが、従来品は 30Hz、20Hz 程度だったものが 50Hz 程度まで向上しました。

【栖原分科会長代理】 フレーム速度が 1.5 倍、2 倍弱にされた。画素数は増やしましたか。画素サイズを小さくしましたか。

【原研究所長（実施者）】 もともと中央研究所でやっていたものはこの 3 分の 1 くらいの画素数しかありませんでしたが、このプロジェクトで 800×600 の画素数に増やしました。

【栖原分科会長代理】 わかりました。膜の品質を上げて耐性を強くしたのではなくて、大規模化したということですね。

【原研究所長（実施者）】 はい、そうです。

【三澤委員】 このデバイスはわれわれも使っていますが、フェムト秒レーザーでやるとすぐ壊れてしまう。学生が間違っただけで少し強いパワーを入れてしまうと壊れてしまいます。先ほどの栖原先生のご質問にも関係しますが、蒸着の仕方を変えると良くなったとおっしゃいました。答えられる範囲で答えていただければ結構ですが実際に壊れる部分はどこにあって、時間依存性を示すのはなぜなのでしょう。

【伊藤専任部員（実施者）】 壊れる要因は、大きく二つ判明しました。一つは、膜の反射率が低いために膜の後ろのシリコン基板までレーザーが照射して、シリコン基板が光を吸収して熱が発生する過程があります。今回、スパッタ装置を導入しましたが、単純に膜の反射率を上げるだけなら膜の総数を上げればいいのですが、膜の総数を上げるとそこで電荷が壊れてしまうので位相変調度が足りなくなってしまう。膜の総数を少なくしながらも反射率を高める必要があるということで、今回、導入したスパッタ装置で改良を行いました。

もう一つの要因は、これは反射型なので、入ってきた光と反射する光が反射面で重なり合う部分が生じます。入ってきた光よりも強度が上がってしまうために、その部分がより光の密度が高くなって破壊されてしまいます。その部分、位相シフト層を導入して、入ってきた光と反射する光が反射面で重なり合わないようにすることも蒸着装置で実現できました。

【坂井主査（推進者）】 次は、ガラス材料の研究を京都大学の三浦先生に発表していただきます。

5. 2. 1 「研究項目①デバイス加工用ガラス材料技術 (1) デバイス加工用ガラス材料技術目標 (3) 三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術」について資料 7-1-1 及び資料 7-1-3 に基づき、また「研究項目③三次元加工システム応用デバイス技術 (2) 三次元光回路導波路デバイス技術」について資料 7-3-2 に基づき実施者より説明が行われた。

5. 2. 2 質疑

【丹羽委員】 わからなかったのですが、ダンマン型のグレーティングの場合、今回の手法でガラスの内部に描画したのですか。

【三浦教授（実施者）】 そうです。その一括の説明がなかったのですが、この部分は今までずっと逐次描画で描いていました。これをある程度、ビーム整形して、ライン状に整形したり、多点で複数にして

においてステージの稼動と同期させています。そのようなかたちで一括で描きました。

【丹羽委員】 一括で何回か描いたということですか。

【三浦教授（実施者）】 そうです。

【丹羽委員】 実際に光を通して分岐点を見たのがそちらのデータですか。

【三浦教授（実施者）】 はい、そうです。

【丹羽委員】 スライドで、その後のグラフに関してフレネルレンズとCGをまとめたCGを作ったということですか。

【三浦教授（実施者）】 説明を省いて申し訳なかったのですが、こちらの部分がいわゆる二次元のホログラムです。それにフレネルレンズのホログラムを足し合わせてCHGを作りました。このレンズとパターンを変えることで、たとえば1の場合はこれとこのパターンを加えるとリング状のものをこの位置に、z軸に作り、2の場合ですとこのようになります。

この例では、ワイングラスとボトルをレンズのCHG等を加えることで、隣に動くときはステージが動いていますが、一つのグラスとボトルを描くときには稼動部は全くありません。ホログラムのパターンだけを変えています。

稼動部がないということはその間に起こる振動や移動のエラーがなくなるので、これだけを描くことを考えればホログラムを変えるだけの方がはるかに高精度でできるのではないかと思います。

【丹羽委員】 最初、0.1dBという値は、決められたときの意味づけがあったと思います。その意味づけと、0.1dBを実現するために一番効いていたものは何でしょうか。

【三浦教授（実施者）】 意味づけですが、通常的光リソグラフィなどの方法で作られていた二次元の光導波路がそれくらいだというのが設定した理由です。損失を下げるために必要だったのは、パルス幅を変化させて導波路を何本か描画した場合、一番損失が低くなるパルス幅が存在しました。50フェムトから500フェムトくらいまでずっと変化させましたが、200~300フェムトでちょうど良いところが出てきます。おそらく、その場合の繰り返し周波数は250kHzを使っています。当然、操作速度とも関係します。パルス幅と繰り返し周波数の関係で、密度変化で屈折率が変わるお話をしたと思いますが、それがなめらかに、スムーズに連続的にできる条件がそこにあるのではないかと考えています。パルス幅を振ったというところが一つです。

【丹羽委員】 普通、1本でステージを動かす場合と、今のように例えば4本のラインをプログラムを使って描く場合を比べると、1本で描いたほうがきれいに描ける気がしますが、如何ですか。

【三浦教授（実施者）】 1本のほうがきれいに描きやすいです。これで一番難しかったのは、10個に分けると10個の強度分布を同じにするとことです。CGHをつくるプログラムの問題になります。

【角野委員】 ガラス材料を基板にする本質的な理由についてですが、三浦先生は「ガラスにいろいろなものを溶かすことができる」と言われましたが、均質性もあるだろうと思います。確認になるかもしれませんが、その辺のことをまとめてお話ししたいのですが。

【三浦教授（実施者）】 最初にやったのがガラスだったからということが、一つ大きなところだと思います。光部品として光導波路も光ファイバーもガラスが使われている部分が多いということが、ガラスでやったことのまず一つです。どういう答え方をすれば良いでしょうか。

【角野委員】 たとえばレーザーを照射したときに異質相が出る。ガラスの場合、ほかの材料に比べて出やすいのかどうか。あるいは、プラスチックだと最終的に使うときに信頼性や光に対する耐光性がどうなるのか。

【三浦教授（実施者）】 ガラスは、レンズも先ほどの光部品もそうで、最初に見つかった現象が密度変化で屈折率が変わる場所がありました。屈折率を変えるとすれば、たとえば単結晶のものよりは均質なガラスのほうが同心円に変えやすい。そういったところがあるのでガラス材料をやりましたが、実は

高分子もやっています。

光というところに目を向けなければ高分子でも構わないと思います。例えば導電性の回路を高分子の中に描く等。最後にコイルのようなものを作りましたが、そのようなもので導電性の構図をコイル状に作ってやれば、ある種のメタマテリアルのような、アンテナのような材料に使える可能性もあります。ただ、このプロジェクトは光デバイスなので、そこでガラスを使いました。

実際にはいろいろな材料をやっています。その中で、このプロジェクトではガラスを中心に行いました。光デバイスがガラスでなければならない理由はないのですが、最も一般的に使われているのがガラス材料です。もちろん、耐光性、耐熱性を考えれば樹脂よりガラスが良いです。

光だけを見れば、たとえば透明な酸化物の単結晶もあります。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムでも同様に光導波路が形成できることは確認していますし、そのような導波路で波長変換できることも確認しています。ただ、入ったのがガラスだからというのが正直なところで、実際にガラスで光デバイスを考えた場合に、検証の意味も含めて一番適した材料ではないかと思います。

【横尾委員】 これでは描画する場合、相対的な位置は良いと思いますが、先ほど平尾先生が話されたように2枚を接着させる、あるいはある距離のところでは何かを出させる場合、絶対的な位置が重要な場合に正確に制御できますか。

【三浦教授（実施者）】 複数の機能を持ったガラスのチップを張り合わせる時の位置精度ということでしょうか。

【横尾委員】 そうです。

【三浦教授（実施者）】 それはレーザーを使って出す精度というよりは、張り合わせのアダプターや機械的な精度が一つ重要になると思います。もう一つ、あとで導波路を描いても済むところに関して精度は良いと思います。

【横尾委員】 それは良いと思われませう。

【三浦教授（実施者）】 たとえばAの機能を持つものがある、Cの機能を持つものがある。それをいきなり張り合わせると位置合わせが大変ですが、その間にBの何でも無い媒質を一つ挟む。そこを導波路でつなげば、AとBで信号のやりとりができる。そういった工夫をすれば、レーザーの加工が生きてくると思います。

【横尾委員】 二つのブロックを張り合わせることもあり得るのですね。

【三浦教授（実施者）】 そうです。その場合、たとえば穴と穴をぴったり合わせなければいけません。もちろんその必要もあると思いますが大変なので、これくらいずれているものがあるけれどもこの間に1個ものを入れ、そこにレーザーであと描きで繋げるものもあるのではないかと思います。

おっしゃるとおり、張り合わせの精度は非常に重要です。厳密に言えば、それが現実的かどうかという問題も出てくるかと思いますが。

【横尾委員】 最近のレーザーのゆらぎはどうなっているのかよくわかりません。ゆらぎと、できた異質相の状態はどう制御しますか。

【三浦教授（実施者）】 例えば光導波路の場合ですが、密度変化を使って変化領域は7~8 μ です。屈折率の変化量にもよりますが、それでモードフィールド径で10 μ くらいのものが取れます。ビームの径を絞ったときのレーザーが大体数 μ なので、一発のパルスで屈折率変化が起こるのではなく、ある一定領域に数万パルス、場合によっては数十万パルスが固まったものとして結果的に10 μ 弱の変化が起こることを考えると、一発当たりのバラツキはそんなに大きな影響にはなりません。レーザー自体も良くなっています。一発のパルスで何か変化を起こそうとしたときはパルスのゆらぎが問題になりますが、今日の導波路に関しては現状の通常市販されているフェムト秒レーザーを使えば大きな問題にはならないレベルです。

- 【横尾委員】 何発か当てると飽和するような状態になるということですか。飽和というか、一定値になる。
- 【三浦教授（実施者）】 そうです。当然、スキャンさせますが、極端な話、 1μ で動くとすれば、 1μ の領域に繰り返し 250kHz のレーザーを使えば、1秒間に25万パルスが打ち込まれることとなりますので、パルスのゆらぎ自体はあまり問題になりません。
- 【横尾委員】 光リミッターを入れて揃えてやることは考えなくても良いのでしょうか。
- 【三浦教授（実施者）】 アベレージパワーが変動しないような工夫は一時期しましたが、あまり意味がありませんでした。一晩動かすなら別の工夫が必要になると思います。
- 【横尾委員】 シリコンのナノ粒子、ナノ結晶くらいは出せるとわかりましたが、化合物は出せないのですか。
- 【三浦教授（実施者）】 化合物半導体ではもともとフィルターがあります。フィルターでは、熱でたくさん出ます。HOYA(株)等もたくさん製造した、いわゆる光学フィルターでは化合物半導体のナノ粒子が析出されています。レーザーを特に使わなくても、熱処理だけで出ます。レーザーを当てれば、レーザーを当てたところだけで出すことができます。シリコンが重要なのは、シリコンは通常のケイ酸塩ガラスの主成分なので、連続的に、大量に析出させることができるところに意味があると思います。
- 【横尾委員】 シリコンの場合、アルミの金属を入れるのですか。
- 【三浦教授（実施者）】 はい。
- 【横尾委員】 アルミの金属を入れた場合、ガラスがどうやってできるのでしょうか。
- 【三浦教授（実施者）】 酸素がある雰囲気で溶融します。言ってしまうと、大気中でもかまわないですが、入れすぎるとその段階でシリコンが還元されます。シリコンよりも酸化されやすいものを何か一緒に入れて、酸素欠陥はできるけれども不透明にならないような組成なり作成条件を選べば割と簡単にできます。
- 【横尾委員】 ガラスの状態、金属の状態ではないのですか。
- 【三浦教授（実施者）】 そうです。酸素の入り方が足りないような、特殊な状態にはなっています。
- 【横尾委員】 それは還元雰囲気で作るのですか。
- 【三浦教授（実施者）】 強還元の雰囲気でもいいと思いますが、工業的なことを考えると強還元の雰囲気はコストがかかります。その代わりに、還元剤としてアルミを入れています。たとえば水素でやっても、同じ結果が出る可能性があります。
- 【平尾教授 P L（実施者）】 要するに、テルミット反応です。アルミは酸化膜をつくるけれども、アルミを入れると酸素が来るからシリコンが遊離されるかたちで、フェムト秒レーザーをそれでアシストすると位置制御もできます。
- 【横尾委員】 その状態では析出はしていない状態で、それをフェムト秒レーザーでアシストすると単結晶が出てくる。
- 【三浦教授（実施者）】 はい。アルミもシリコンも出ていません。
- 【横尾委員】 出ていないのですか。わかりました。
- 【三澤委員】 ダンマン型のグレーティングですが、われわれも密度分布を使って光デバイスをつくることはいろいろやっています。密度分布をつくと必ず応力がかかります。多層にすればするほど応力はかなり強くなってしまって、ちょっとしたショックが入ると割れてしまう。製品化を目指したときに、多分その辺が大きな問題になると思います。そのあたりの評価はされていますか。
- 【三浦教授（実施者）】 衝撃の評価はしていません。おっしゃるとおり、応力も屈折率の変化に影響を及ぼすので、その辺は複雑なパターンになればなるほど問題になってくるとは思います。
- 【三澤委員】 導波路の 0.1dB があったと思いますが、どの偏波に対してもですか。ああいう描き方をする

と、必ず光軸方向に伸びるかたちになります。フェムト秒レーザー加工をやっている人は知っているわけで、そうすると偏波に対して同じ損失なのかどうかは大きな問題になると思います。

【三浦教授（実施者）】 回転させると偏波の損失は変わりません。

【三澤委員】 0.1はどういう方向に対してですか。

【三浦教授（実施者）】 ランダムなものを入れてということです。おっしゃるとおり、これは上から描いていますので周期構造が勝手に形成されます。その影響は出ます。

【三澤委員】 なるほど。製品化を考えたときにはあまり問題にならないと考えますか。

【三浦教授（実施者）】 偏波の影響が出るような微細な構造は合成石英ではかなりはつきり出ますが、多成分系のガラスは割と影響が小さくなります。その辺を避けるには、石英ではなくて多成分系のBK7といった光学ガラスでもかまいません。そのようなものを選択することで、ある程度避けられるのではないかと思います。

【三澤委員】 材料で逃げるということですね。もう1点、われわれも位相マスクを使った加工は2002年に報告しています。ショックウェーブがどう伝搬するかも、2007年か2008年、「フィジカル・レビュー・レター」に報告しています。特許関係は取っていますか。

【三浦教授（実施者）】 衝撃波のですか。

【三澤委員】 はい、そうです。

【三浦教授（実施者）】 特許は取っていません。物理現象の事実としてとらえていたので、論文はかなり早く出していますが特許は取っていません。もちろん最初にピコ秒レーザーで三澤先生がやられたとき、おそらく同じ現象が起きていたと思います。

【三澤委員】 われわれが2000何年かに「PRレター」に出したのは、結晶系でやっても、たとえばサファイアの結晶でやっても等方的に穴が開くと報告しています。結晶だから異方性が出て、結晶ではないから等方的ということではないのですか。

【三浦教授（実施者）】 球状の穴が開きましたか。

【三澤委員】 球状の穴です。

【三浦教授（実施者）】 使っているレーザーの特性をこの場で伺っても宜しいですか。

【三澤委員】 われわれはハリケーンを使っています。

【三浦教授（実施者）】 1キロ、シングルショットですか。

【三澤委員】 1キロ、シングルショットです。

【三浦教授（実施者）】 われわれは少し違った結果が出ています。劈開しやすい面に高密度の欠陥の転移層が形成される現象をとらえています。TEMでも確認しています。プラスエネルギーにもよりますが、空洞はできませんでした。ただ、アモルファス状になる。その部分が非晶質になることは確認しています。仮に非晶質になったとすれば、中心が空洞になる可能性は出てきます。結晶のまま空洞になったとしたら、それは逆に非常におもしろいことだと思います。

【三澤委員】 段階的にアモルファスになって、さらにパワーを上げていくと空洞が開くと。

【三浦教授（実施者）】 そうです。アモルファスのところに空洞が開きます。

【三澤委員】 ということだと思います。あと1点、しつこいようですが高効率と言われていることです。産業化するときに非常に大事だと思うので質問しますが、普通に考えるとフェムト秒レーザーは100ワット、15アンペアの電源を用意して出るエネルギーはたかだか1ワットくらいです。そこでエネルギーは1000分の1になっています。さらに2フォトン以上の物理現象は、基本的には1万フォトン、10万フォトンを入れてワンイベントが起きるか起きないかだと思います。そうすると、20%のエネルギー変換効率はとうてい不可能だと思います。私はそれでも構わない。フェムト秒レーザー加工をやっている立場から言うと、ほかの機械加工や放電加工でできない加工ができるのであれば、それはそ

れでオーケーだと思います。その辺のメリット、デメリットをきちんと整理して表にすると、非常にわかりやすいと思います。それが見えないで何と比較して良いのかが全くわからないので、非常に評価しづらいところがあります。

【三浦教授（実施者）】 三澤先生は非常にお詳しいので話しづらいですが、おっしゃるとおりこれはフェムト秒レーザーと呼んでいますが、サブピコレーザーです。メカニズムが判明するとわかってることがありますが、実は数ピコ秒までは多くの材料で同じような現象を起こすことができます。例えば数ピコ秒の産業用レーザーになると、研究所で使っているフェムト秒レーザーの半分の値段でパワーが一桁、二桁大きいものが入手可能です。もちろん、電気を光に換える効率自体もはるかに良くなります。基礎的な治験は極限に近いフェムト秒レーザーで、見極めるべきですが、同じ現象が起こるものなら、三澤先生がおっしゃるようにもっと効率のいい、ピコ秒のものを使って、今後考えていくことも必要だとは思いますが。おっしゃる意味は非常によく理解できます。

【三澤委員】 そこは整理されると非常にわかりやすくなると思います。

【三浦教授（実施者）】 はい。

【栖原分科会長代理】 ご研究をいくつかの方向から眺めることができると思います。まず一つは、三次元露光技術および装置の開発の観点で見ると、非常にフレキシビリティの高い、有効な方法を開発されたと理解します。この方法で従来からステージ動法、ガルバノミラー法などがありますが、それに比べて単にフレキシビリティが高いだけではなく、定量的な性能改善比として何か数値を挙げることはできますか。

【三浦教授（実施者）】 数値は挙げられないというか、特に求めていません。数値でなくても言わせていただければ、最初のときにも言いましたが、ガルバノの場合はシングルショットで加工する分には非常に有効です。光電効果を使った結晶も同じです。ただ、ある一定の領域に一定のパルス数を打ち込まないと起こらない、なめらかなものをつくるためには、今回のような導波路描画も含めてそうですが、単純に1点を100点に分岐することだけでも効果はあるのではないかと思います。

【栖原分科会長代理】 それはこういう方式を取れば自明です。

【三浦教授（実施者）】 そうですね。もう一つ、1×4分岐の話をしたと思います。1回、変化を起こして、そのあとにまた同じように描いてしまうと、厳密にはステージは動いていますが、最初から殆ど同時もしくはそれに近い状態で照射しておいて分かれたほうが、数値ではないですが2度描きするより構造があまりぶれないメリットはあるかなと思います。

【栖原分科会長代理】 もう一つの視点はNEDOプロジェクトのタイトルにもある「光デバイス高効率製造技術」です。挙げられたいくつかの例のうち直線導波路は機能は殆どないですから、分岐導波路と、もう一つはホログラフィック光学エレメントについて、分岐素子の観点で見ると似たようなものが既にたくさん開発されています。

高効率、実用性を考える場合には、ご研究の方法は一個ずつの作成ですね。通常の方法は、リソグラフィの場合は原版をつくと量産性があるからこそ、リソグラフィは一般的に大成功で使われています。ご研究の方法は、それに対応するものがない。エンボス法だと極めて安価に、たくさんつくれます。そういう点で比べると、高効率とはいえ量産性に適しているとは言えない。

この方法で従来法ではできなかったことは何か。この図を見せていただくと出力導波路が4点あって、これが1平面上に乗っているのではなく、右のスポット図の縦横にずれている。それは従来法でもできなくはないけれども、こちらが適していると理解します。しかし、これにどんなニーズがあるか、活用できるか。こういうものでないといけないものを見つけると生きてくると思います。たいていの場合、平面上、直線上に乗っていることが多いので、何か「これでないといけない」という応用を見つけていることができるでしょうか。何かありますか。

【三浦教授（実施者）】 お察しのとおり、こういう構造ができないのではないかと思ってスライドを出しました。確かにこうすることによってどんな機能が出るのか。平面ではだめなのか。もしこれを続けていくなら、これから考えていく必要はあると思います。もう一つ、従来法でできない方法として、先ほど平尾先生も言いましたが、光を直角に曲げるような光導波路自体はすぐにも使う用途があります。

【栖原分科会長代理】 それは使われていますね。

【三浦教授（実施者）】 積層させながら作るなどということもあります。

【栖原分科会長代理】 いろいろあるのでご存じだと思います。

【三浦教授（実施者）】 一筆で描くことができれば、そういった方法に対抗できるのではないかということです。フェムト秒レーザーで作った導波路や素子がほかのものにすぐれているとは私も思っていないが、この方法を使うことでより簡単にできる、この方法でなければできないものは探していく必要があると思います。

【栖原分科会長代理】 現状、これの一つつくるのにどれくらい時間がかかりますか。

【三浦教授（実施者）】 スキャン速度が毎秒、数十ミクロンでしょうか。この時間が8かけです。スピードが8倍になっているので、おそらくこれで数センチのものを描いています。

【栖原分科会長代理】 ムービングステージやガルバノミラーを用いる方法と比べるとすごく速いかもしれないけれども、リソグラフィ、エンボスに比べると如何ですか。

【三浦教授（実施者）】 効率は悪いですし、量産性には向いていません。三次元で導波路を描かなければならない機能を見つけることは非常に重要だと思います。

【矢澤分科会長】 異質相形成のところでお聞きます。レーザーを当てると衝撃波ができる。やめると圧縮していく。いわゆるマルチのイオンが入っている場合は、シリコンが中心部に集まるというご説明だったと思います。酸素との結合性を考えると、カルシウムのほうが真ん中に集まるのではないかと思います。そういう法則性は何かありますか。

【三浦教授（実施者）】 シミュレーションは早冷効果という、温度勾配に対してどんな元素が高温に行くかというところがあります。温度勾配でシミュレーションしてみると、シリコンが中心に行きます。それはSiOの結合を考えてシミュレーションしたものではありません。

【矢澤分科会長】 原子量とか重量の軽いもの。

【三浦教授（実施者）】 SiO₂、いわゆるシリケートと呼ばれるガラスはすべて中心に行きます。高温になったときに分子が振動して大きなスペースを取ろうとします。結合強度が強くて高温であまり大きく動かない、分解できないものが高温領域に行って、分解しやすいものが周辺に行ったほうが、トータルのエネルギーとしては安定になるのではないかと。そうした漠然とした、シミュレーションの前段階にもならないようなイメージはつけられると思いますが、それを検証していく必要はあると思います。

【矢澤分科会長】 もう1点、横尾先生の話にも出ましたが、アルミは酸化状態で入ると思います。アルミは金属で最初に入れますから多分酸素不足になると思います。そのときは、触媒的にシリコンの還元状態のものができるのか。あるいは、入れたものに比例したくらいのシリコンができるのか。どんな感じですか。

【三浦教授（実施者）】 ガラスをつくるときにアルミを入れすぎると最初からシリコンが出てしまいますので、ぎりぎりのところで止めることが重要だと思います。あまり量が少ないとレーザーを当てても出ない。おそらくアルミニウムの量を少しずつ変化させることで、酸素欠陥の量が変化していると思います。

【矢澤分科会長】 酸素欠陥に比例してシリコンが出るという理解でよろしいですか。

【三浦教授（実施者）】 はい、そう思います。

【平尾教授 P L (実施者)】 二つありますが、一つは触媒的なものもあると思います。カルシウムシリカ系統があると触媒的にあるところだけを食っていくことはガラスの中でも見出しています。今の場合は欠陥です。もう一つ、先ほどの三澤先生と柘原先生に関係しますが、ダンマングレーティングの応力というのは表面ですか、内部の話でしょうか。内部ですね。われわれも内部で描いています。それを映そうと思いましたが、かなり描ける。高速で描けます。何層にも描きます。その良いことは、0次光が消えて層が増えるときれいにスプリットできます。そこの奥にいろいろなセンシングを置いて、1本の光を分けて強度を弱くして受けないというニーズがあって、そのときには非常にこれは使えました。実際、1個、1個描いたりダンマングレーティングをやると非常に値段が高いのに、これだと非常に良い。そのメリットは確かにありました。ダンマングレーティングを何層にも描いて、0次光をなくして効率をかなり上げる。そして、入ってきたビームを分けるという用途はありました。

【三澤委員】 非常におもしろいデバイスだと思いますが、密度変化をつけて描いていくと必ず内部応力がかかります。そっとしておけば何ともないですが、われわれは経験がありますが、少し触るとダツとひびが入ってしまう。製品化するとき大変大きな問題になると思うので、その辺の評価をされているかをお聞きしたかったのです。

【三浦教授 (実施者)】 通常のハンドリングでは壊れないですが、先ほどお答えしたとおり、そういった数値化の評価はしていません。

【平尾教授 P L (実施者)】 普通、ガラスは熱処理や徐冷をします。これは徐冷ではそれほど高密度層は消えません。そうすると内部歪みはかなり減りますが、そういうことをやっても無理でしょうか。われわれは昔、偏光顕微鏡で内部歪みを撮ったことがあります。

【三澤委員】 徐冷して、逆にショックを与えたときにどうなるのでしょうか。

【平尾教授 P L (実施者)】 それは大丈夫です。

【三澤委員】 三次元メモリでずっと描いていくと、たとえば20層描くとある瞬間にダツとひびが入って読み出しができなくなってしまった経験があります。その辺を評価しているか確認したかったのです。

【三浦教授 (実施者)】 具体的な評価はしていません。実際、やっていると割れることはあります。同じ経験はしています。

【平尾教授 P L (実施者)】 失礼しました。ただ、ガラス転移温度以上に上げないと高密度層は消えないので、それ以外のところでアニールすると残留応力は消えますが、おっしゃったようにちょっとしたことで割れる可能性はあります。そこはやっていません。

【梶田主査 (事務局)】 次の説明は資料7-1-2、そのあと7-2-2、最後に7-3-1ということで続けてご説明いただき、最後にまとめてご質問していただくことでお願いいたします。

5. 3. 1 「研究項目①デバイス加工用ガラス材料技術 (2) 三次元デバイス用ガラス材料技術」について資料7-1-2に基づき、また「②三次元加工システム技術 (1) 三次元加工システム技術目標 (2) 波面制御三次元加工」について資料7-2-1及び資料7-2-2に基づき実施者より説明が行われた。

5. 3. 2 質疑

【矢澤分科会長】 どうもありがとうございました。ただいまのご説明に対して質問、コメント等をお願いします。

【角野委員】 最初の方のご説明で、屈折率差が0.015以上でリン酸チタンのガラスでできたということですので。その前に三浦先生が、いろいろなガラスの特性を考えてやればシミュレーションでは大きなものができると言われたと思います。実際の材料としてはこれくらいですか。それ以外のものでもあり得ますか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 0.015ですか。あり得ると思います。

【角野委員】 このプロジェクトの中でできたものは。

【田中研究所長 S L (実施者)】 われわれは、光学ガラスでなければならないという状況を考えて、ガラス種を選んでいきます。ウェーブガイドなどをつくる場合には、ロスなどを考えるとどちらかという石英系でやったほうが良いですが、光学ローパスフィルターなので光学ガラスを使いたい。非常に明るいガラスを使いたい。われわれのところに(株)オハラさんが参加されているので、そのガラスを主に考えるということでこれを使いました。

【角野委員】 必ずしも屈折率差と損失の両方がこの条件を満たす必要はないということですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 ウェーブガイドに使う場合には、ウェーブガイドとしての働きでいいわけです。たとえば 1.5μ が通れば良い。マウント幅がありますが、その間でロスが少なければ良い。しかし、光学的に見たら全然だめかもしれません。ということで、使い分けしなければいけません。

【角野委員】 ウェーブガイドの場合は、0.015 ほどの差はなくても良いということですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 ウェーブガイドの場合ですか。ウェーブガイドの場合も大きいほうが良いとも思いますが、0.01 あれば使えないことはないと思います。ただ、ナノガラスのとき、屈折率差 Δn として 0.015 ではなくて、絶対値で 0.3 や 0.5 が得られていました。一番大きいものでは 1.1 くらいが得られていましたから、大きなものをつくらうと思えばできないことはないと思います。

【矢澤分科会長】 関連質問ですが、チタンやリン酸のガラスで、シリカ系は入っていますか。非公開で出てくるのかもしれませんが。

【田中研究所長 S L (実施者)】 (株)オハラさんがどう言われるか。ガラスですから、少し入っていると思います。

【矢澤分科会長】 リン酸系ですが非常に耐水性が悪い。この系はだいぶやりましたが、アルミか何かが入っているのではないか。そのときに、フェムト秒レーザーを当てると結晶化はどうなりますか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 P_2O_5 が入っていますから一般に耐水性は悪い。数パーセントになると溶けてしまいます。

【矢澤分科会長】 全然だめです。

【田中研究所長 S L (実施者)】 もちろん、その対策をした光学ガラスです。そうでないとレンズとして使えません。結晶化の話ですが、先生のところは結晶化を全部やられていますが、ものによっては結晶化すると思います。以前にやりましたが、いろいろな成分をつくって当てると結晶化しました。半導体の結晶化として、たとえば II-VI 系とか、III-V 系は非常に難しいです。III-V 系は V 族のほうが蒸気圧が高いですから飛んでしまいます。II-VI 系でやりましたが、それは数十ナノくらいの半導体微粒子ができていました。

【矢澤分科会長】 これはフェムト秒レーザーですね。チタニアはものすごく結晶化しやすい。フェムト秒レーザーのこういうパターンの場合、ある組成を選べば結晶化しにくいものができるという認識でいいですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 はい、そうです。

【矢澤分科会長】 どうもありがとうございます。

【田中研究所長 S L (実施者)】 先ほどの材料の図で、いろいろな点が入っていたと思います。非常にたくさんさんのガラス材料を調べています。

【平尾教授 P L (実施者)】 フェムト秒レーザーの繰り返しで違ってきます。1 キロ、200 キロになるとどうしても熱効果が出てきます。そのような場合があるので、繰り返し周波数との関連があると思います。それではないものが使われていますから、今は出ません。

【栖原分科会長代理】 材料からデバイス化、製造技術までいろいろと検討して、多くの成果を得られて大変結構だと思いますが、いくつか質問させていただきます。

光導波路デバイスをいろいろ試して、原理を試そうとしていることはわかりますが、まだデバイス特性を見ようというところには至っていない。それらしい動作はするけれども、すでにあるものとの比較や本当にどういう応用ができるかの明確化まではまだ行っていないかと思います。

最後に話されたモアレ除去フィルターは非常に具体的で、すぐにでも応用できそうな感じでカメラの写真もありました。しかし、定量的なデータはどの程度取っているのか。要求、目標に対して現状どこまで行っているのか。お話が定性的だったものですから、光通信用デバイスに比べてもっと実用化に近いのかと思いますが、定量的データは何かありますか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 両面からお答えします。最初の通信関係、光学デバイスは、このシステムがやっとできたのが去年です。前の中間評価のときにも「実用化するとすればどういうところがあるか」と言われたので、いろいろなことをやって可能性を調べました。一つ言えるのは、これらのうちのいくつかはメーカーと話して、細かい話は言えませんが「使えるではないか」という話もあります。オプティカル・ローパスフィルターは、継続研究をやろうとしています。オプティカル・ローパスフィルターの継続研究をして、定量的なところを取って何とか頑張れば実用化できるのではないかと考えています。

【栖原分科会長代理】 定量的なデータは取っていない、あるいはこの場では話せないということですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 はい。全部出してしまうと問題です。

【栖原分科会長代理】 もう一つ別のことですが、今度は数字です。三次元屈折率差測定機能付き形状測定器というものがあって、すばらしい数字、驚きの数字があります。これは干渉計ですね。

【田中研究所長 S L (実施者)】 そうです。

【栖原分科会長代理】 私も資料を読ませていただきました。文章の意味があまり明確ではありませんが、「30nm ϕ (ファイ) の大きさの屈折率」はおかしいと思いますが、分解能が 30nm のところの屈折率を測定できるという意味ですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 いえ、現在、丸で 5 μ くらいのサイズのものを測定しています。そのときの屈折率差 Δn は、0.001 くらいのところは測定できることを確認しました。

【栖原分科会長代理】 それは干渉法で、それほど驚きません。厚さによりますが、・・・。30nm とは何を意味して、どんな根拠ですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 それは上のこの部分の処理がミソです。

【栖原分科会長代理】 ミソになっているというのでは合点がいかない、本当かなと思います。

【田中研究所長 S L (実施者)】 すみません。この参加企業から伏せておいてくれと言われました。

【栖原分科会長代理】 そうすると、この図は本物ではないのですか。

【田中研究所長 S L (実施者)】 本物です。

【栖原分科会長代理】 そうすると二光束干渉計で、レンズの平行系で、レーザーを使うからには並列光学システムですね。

【田中研究所長 S L (実施者)】 波長で決まってしまう。

【栖原分科会長代理】 波長だけではなくて、レンズの開口数で決まるのですね。

【田中研究所長 S L (実施者)】 はい。

【栖原分科会長代理】 30nm というのは、超解像処理と言っておられるが、それはあり得ない。

【田中研究所長 S L (実施者)】 実はこれはあり得ます。

【栖原分科会長代理】 私も数式を見せていただきましたが、周期性のあるものを勝手に仮定すればそれだけについて見られて、周期性が高調波も空間高調波も見ればあるというだけです。それは本当に測定とは言えないと思います。

【田中研究所長 S L (実施者)】 確かに、かなり厳しい感じはしますが。

- 【栖原分科会長代理】 コヒーレント並列光学系だとOTFがはっきりと波長と開口で決まってしまうから、その外はデコンボリューションしても意味はない。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 それができるというのがミソです。ここに参加しているライトロン社がこの技術を開発しました。それで、テレビの画像が歪んでいるものを直しています。
- 【栖原分科会長代理】 それとは話が違いますね。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 はい。いろいろなところでこういう技術が使われています。使われようとしています、と言ったほうが正しいですが。
- 【栖原分科会長代理】 私はわかりません、というコメントです。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 皆さん、そうおっしゃいます。それでいつも説明に困っています。
- 【栖原分科会長代理】 何か別の方法で、実験的にその分解能を確かめたのですか。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 そこへ行くとちょっと……。データを探してみます。
- 【栖原分科会長代理】 何か出てきたというのはそうでしょうが、本当にそこに書かれたような分解能で信頼できるデータか、どんなふうに確認されたのかという質問です。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 この機能から探した予測です。予測でこれができる。これは限定したような書き方をしていますが。
- 【栖原分科会長代理】 光学の原理に反するのではないかと思います。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 だいたいそう言われます。
- 【栖原分科会長代理】 私は理解できません。納得したわけではありませんが、発言としては結構です。
- 【矢澤分科会長】 何か追加資料はありますか。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 いま彼らは特許を取りまくっていて、あまり出せないのです。できるだけ説明できるようにします。
- 【坂井主査 (推進者)】 追加資料を出さないと、基本的には評価できないかたちになります。出せるなら出して下さい。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 そうですね。
- 【中山部長 (推進者)】 このあとの非公開のところで発言できるなら発言していただかないと、「言えません」では評価になりません。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 この数値は、もともと目標値に入れていなかったのです。
- 【矢澤分科会長】 では、非公開の部でご説明いただくということで。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 ただ、ここへもう一度問い合わせて、どこまで言っているかを聞かなければなりません。
- 【矢澤分科会長】 後日、何らかの栖原先生に対するご説明があると認識しておいてよろしいですか。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 はい。
- 【丹羽委員】 ここはEB描画のホログラムを使っているものとLCOSを使っているものと2種類あります。選ぶ基準は細かさかもしれないですが、具体的には何ですか。
- 【田中研究所長 S L (実施者)】 同じプロジェクトで言いづらい面もありますが、私はどちらを選ぶというよりも、ガラスホログラムとLCOSを最終的には組み合わせて加工システムをつくりたかったのです。そこまでは持っていきませんでした。そういう状況があります。
- それは置きまして、どういう違いがあるかという、耐光性が全然違います。いまは10Wぐらいを使っていますが、その数百倍、数千倍入れてもガラスホログラムはやられません。ただ、LCOSの場合は、今日、お話がありましたが90GWです。ですから52Wですか。強い光も使いたい、将来的に大面積にも使いたい、製造にも使いたい。そうするとガラスホログラムは安定が良いのではないかとというのがわれわれの考えです。

ガラスホログラムのもう一つの特徴は、画素数が800億とかです。先ほどは40万画素くらいですが桁違いに大きい、780億画素のものが使えますから多点を一気につくれます。直線も、数センチくらいのもので一気できてしまいます。ということもあって、製造にはガラスホログラムが使われるのではないかと思います。

【丹羽委員】 いわゆる4レベル、8レベルというやり方と、LCOSの場合は連続的に位相を変えていると思います。その部分で、今回の差は特になかったでしょうか。

【田中研究所長S L (実施者)】 連続的に位相を変えることもですが、いきなりこれで作ってしまえば良いのではないかと思います。1cmくらいの総長、数センチの総長ができるわけですから、それでいきなり画像を作ってしまう。それで加工したほうが生産的だと思います。生産ラインに乗せることを想定していますから、実験として早くやろうという場合とは少し違います。

【平尾教授P L (実施者)】 P Lとして言わなければいけないのですが、簡単に言えばROMとRAMの違いで、これができるしまえばいろいろなものができます。あちらは随時、高生産するために、コンピュータの性能さえ上がれば変換式でパラメーターを変えてきますからいろいろ調整できます。両方を持っておくとそれぞれ使い道があるということで、いろいろな方に納得はしていただいています。ただ、先ほどからの話があるように、モアレは別としていろいろなものを原理的に光通信に使いたいのですが、なかなか光通信のメーカーが立ち上がらない。試作はいっぱい来ますが、実際のマーケットの中に入れるところまで行かない。われわれとしてはどうしても周辺のデバイスへ行ってしまうざるをえないのが少し辛いところです。

【田中研究所長S L (実施者)】 一つだけ付け加えたいと思います。ガラスホログラムは製造で使うと考えていますが、最近、半導体チップでもチップごとに番号を付けます。そういうときにはLCOSでないと絶対できません。そういう機能はほかにもあると思います。最終的にドッキングさせてつくったというのは、そういうところがあります。

【平尾教授P L (実施者)】 今まさに話があったとおり、おもしろい使い方でもマーキングというものがあります。ガラスのロットの内部にやります。フェムト秒レーザーで弱くしておくと血管だけになって、普通は見えませんが紫外線を当てると字が出てくるものがあります。マーケット的にそういうものが非常に大きい。われわれと相反するところに産業が行くので、困っているところです。そういうもので大量にマーキングというところがフェムト秒レーザーの内部加工の良いところと言われつつ、今の話があると思います。RAMとROMの違いです。

5. 4 実用化の見通し (非公開セッション)

省略

6. 全体を通しての質疑 (非公開セッション)

省略

(公開セッション)

7. まとめ・講評

【横尾委員】 最初の方で申しましたが、このプロジェクトはそもそも「三次元光デバイス高効率製造技術」ということで、途方もなく難しい技術なわけです。ですから、すぐに実現できるものではない。それを実現するために、基盤技術あるいは材料をいろいろ調べて、それから出てきたバイプロダクトな技術が、現実に今ある製造の役に立てば儲けものという考えでいくべきではないかと思います。将来的な三次元的なデバイスをつくるには、このような技術を提示していただく必要があると思います。ただ、それがすぐに実現できるかどうかまでは、まだ要求してはいけないのではないかと思います。

その結果、一括加工技術など現実に応用できそうなものが見つかっておりますし、いろいろな現象を解明していただいたのではないかと思いますので、これからももっと深めてやっていただければ有難いと思います。

【三澤委員】 説明を伺って、プロジェクト期間中にいろいろなことが見つかったと思いました。ただ、三次元加工に関しては、レーザー加工以外のいろいろな技術があると思いますので、その辺の比較検討が見え難かったという気がします。ですから、コスト、省エネなどいろいろなファクターがあると思いますが、企業は基本的にリスクヘッジしていますから、ほかのいろいろな技術を取り上げようとすると思います。その中で、ここが優れているというところをもう少し見やすいかたちで出されたほうが、より技術がすばらしいことがわかると思います。その辺の見せ方をもう少し工夫されたらどうかという気はしました。

【丹羽委員】 私自身は、ナノガラスのもう一つ前のプロジェクトから評価委員をさせていただいて、非常に興味深い技術自身がどんどん進歩して行って、着実に成果を出されていることについては、非常に感銘を受けます。しかし、より精度が上がってきて、製品が見えてくればくるほど、サプライズの気持ちは減じてくるというのが偽らざるところです。

私自身は、エネルギーの観点ではNEDOプロジェクトだから仕方ないと思うところはあります。この方法でしかつけれない場合だけではなくて、先ほどのオプティカル・ローパスフィルターでも、トータルのコストは逆にエネルギーに換算でき、トータルのコストという点から考えたときに優れていれば評価ができると思います。計算は難しいのかもしれませんが、その点でも新しい技術を開拓する可能性を感じました。また、特に、基礎的な面でシリコンの析出は新しい発見、発明だと思いましたが、こういうことが開発の中で出てきたということはすごく評価すべきことで、これからの非常に大きな可能性を感じました。そういう意味で、コメント自体はより製品に近くなると厳しくなってくるころはあるのですが、出された成果については着実に課題を成し遂げられたと判断します。

【近藤委員】 長期のプロジェクトを多岐にわたってまとめておられ、そのマネジメント力に非常に感銘を受けました。そして、私はこの評価に初めて出席させていただきましたが、非常に多岐にわたって材料の中身を緻密に評価しておられるので、大変すばらしい夢のあるプロジェクトだと思いました。ただ、先ほど先生方もおっしゃったように、実用化にはまだまだ時間がかかるのではないかという気がしましたので、一つの実用化の目標を決めて、世の中にこのような技術が役に立つことを公開していただくと、日本の中にこういう素晴らしい技術が根付くことになり、将来に大変期待できると思いました。

【角野委員】 私自身は材料の立場で研究しているわけですが、材料から見ると、もともとは平尾先生のERATOのプロジェクト、フェムト秒とガラス材料の相互作用というところから始まって、JSTとNEDOのナノガラスプロジェクトも走ってここまでこられたということで、非常に感銘を受けているところです。一方で、実用化していくという面では、本日の委員会の中でもいろいろご質問があったように、これは栖原先生のお立場かと思いますが、デバイスとのマッチング、デバイスの側から、この技術を使わなくてもほかにもいろいろ同じことができると思います。材料の側から言えば、「最初にガラスありき」で良いと思いますが、実用化という面から見ますとそうではなくて、いま一步デバイスのほうに歩み寄って、たとえばガラスとほかの材料を比べてもう少し定量的に良い点、悪い点を比較できれば良いと思った次第です。それは確かに難しいことではありますが、実用化を加速するという意味では重要なことだと感じました。

【栖原分科会長代理】 ガラスとフェムト秒レーザー、光デバイスというキーワードの下に、以前からのご研究の蓄積を基盤として、本格的に実用化というキーワードも入れて取り組まれて、多くの知見を得られて、論文もたくさんお書きになって、教育効果もということで、多くの成果を得られたことにま

ず敬意を表したいと思います。私は材料屋ではありませんが、ガラスは材料だということから言いますと、もともと予想されたことでもありますが、可能性を広げる多くの知見が得られていると思います。ただ、デバイスにつなげるための知見という観点からもう少し絞って、主に屈折率変化や歪をデバイス化につなげるときのフェムト秒加工のダイナミクスについて考えると、解析は学術的に非常に価値の高いものとは思いますが、ものづくりをするときの設計指針の根本的な確立に向かうようなデータを示していただければ、もっと勉強になったと思います。

それから、ものづくりをする上での道具、機器開発という観点からは、LCOSというすばらしいものを発展させて、ホログラフィックな手法は古くからあるわけですが、試作あるいは研究、実用になる非常にフレキシビリティの高い装置が完成に近いのは、非常に大きな成果だと思います。性能改善比も大きいし、実際に威力になって、このプロジェクト全体の成果をつくるために役立ったと理解いたしました。

一方、このプロジェクトは光デバイスが中心になっていることから言いますと、質問でもコメントさせていただきましたが、この方法でなくては・・・というところがあまり見えない。デバイスは構造も原理も知られているものばかりで、この方法でもできるということでバリエーションはありますが、競争力があって実用化できるものは、インターコネクション、光通信でもちょっと曖昧だと思います。期待の民生機器のカメラのモアレ防止一つだけでも、非常にうまく実用化できると良いと思ってお聞きしました。本格的に取り組もうとされているようですが、競争力があるのかどうか十分には見えてこなかったと思いますので、今後のご研究に期待したいと思います。

大変盛りだくさんな成果を得られました。少なくともデバイスづくりという観点からは、これからは何でもつくろうという八方美人でなくてもいいから、ほかの方法でできないイノベーションができるもの、競争力が強くて世の中に出るものを重点的にやっていただきたいと思います。析出して発光するものもおもしろい現象ではあると思いますし、貴重な知見だと思いますが、実用化という観点からすると、紫外線を当てて光るものは五万とある中で本当にレーザーになるかということ、ならないものの方が多いわけです。競争力のあるものもきっとあるだろうと思いますので、そういうものに絞り込んで実用化していただければと思います。

質問させていただいたように、記述の問題のためか、あるいは根本的問題のためか、合点のいかなかったところがあったのも気になりますので、もしご回答いただけるようでしたら考えてみたいと思います。専門的にも信頼性の高いデータ、表現でお願いしたいと思います。ありがとうございました。

【矢澤分科会長】 今日お話を聞きしていると、非常に次世代的というか先端的な成果がたくさん出ています。これはもともと非常に難しいチャレンジングなテーマに挑戦されたわけで、どんどん実用できれば話はたやすいですが、次世代、先端的であるがゆえに実用化というのは困難が伴うのは当然です。しかし本プロジェクトでは、ガラスでこういうことができて、いろいろなおもしろい現象が見つかって、デバイスにもつながっていく豊富な知見が得られたということは、ガラスの科学技術全般として非常に実り豊かな成果が得られたと思います。

私は、ガラス材料屋だからというわけではないですが、ガラスでこういうのができたという特徴のところをどんどん発信していただければ、物はできているわけですから、こういうところに使えるという話が必ず出てくると思います。たとえば炭素繊維もいまや航空機などには不可欠な材料となってきましたが、最初はゴルフのシャフトなど目的とした以外の分野から実用化が始まったと聞いております。先端の技術はそんな場合が多いと思います。本技術開発も、三次元の加工で非常におもしろい成果が多数出ております。そういうのをトリガーとして、本丸のデバイスにも必ずや繋がっていくのではないかと思います。私もNEDOのプロジェクトをいろいろやって参りましたが、いまほど実用化と言われませんでした。将来の実り豊かなシーズになっているものは多くありますし、これも確

実にその一つになっていくものと思います。

8. 今後の予定

梶田主査（事務局）から、今後のスケジュール等について説明が行われた。

9. 閉会

配布資料

資料 1-1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 1-2	NEDO技術委員・技術委員会等規程
資料 2-1	研究評価委員会分科会の公開について（案）
資料 2-2	研究評価委員会関係の公開について
資料 2-3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
資料 2-4	研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
資料 3-1	NEDOにおける研究評価について
資料 3-2	技術評価実施規程
資料 3-3	評価項目・評価基準
資料 3-4	評点法の実施について（案）
資料 3-5	評価コメント及び評点票（案）
資料 4	評価報告書の構成について（案）
資料 5-1	事業原簿（公開）
資料 5-2	事業原簿（非公開）
資料 6-1	プロジェクトの概要説明資料（公開） 4.1 事業の位置付け・必要性及び研究開発マネジメント
資料 6-2	プロジェクトの概要説明資料（公開） 4.2 研究開発成果及び実用化の見通し
資料 7-1-1	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.1 デバイス化加工用ガラス材料技術 デバイス化加工用ガラス材料（共通目標）
資料 7-1-2	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.1 デバイス化加工用ガラス材料技術 三次元光学デバイス用ガラス材料技術
資料 7-1-3	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.1 デバイス化加工用ガラス材料技術 三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術
資料 7-2-1	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.2 三次元加工システム技術 三次元加工システム技術目標
資料 7-2-2	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.2 三次元加工システム技術 波面制御三次元加工システム技術
資料 7-2-3	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.2 三次元加工システム技術 空間光変調器三次元加工システム技術
資料 7-3-1	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.3 三次元加工システム応用デバイス技術 三次元光学デバイス技術
資料 7-3-2	プロジェクトの詳細説明（公開） 5.3 三次元加工システム応用デバイス技術 三次元光回路導波路デバイス技術
資料 7-4	プロジェクトの詳細説明（非公開） 5.4 実用化の見通し
資料 8	今後の予定

以上