

## 論文

## 光通信用多心フェルールの作製

上野武司\* 加沢エリト\*

Fabrication of multi-core ferrule for optical fiber communication

Takeshi UENO and Elito KAZAWA

**Abstract** A multi-core ferrule to be used for optical communications was fabricated and tested. We developed a new anisotropic etching method that makes it possible to form rhomboidal cross-sections by improving a conventional anisotropic etching methods to form silicon V groove microstructures. The advantage of our process is that the shapes of the grooves are automatically fixed to rhomboid microstructures, which result from the large difference of the etching rate occurring between an  $\langle 100 \rangle$  surface and an  $\langle 111 \rangle$  surface of a single-crystal silicon. Applying this feature, a low-cost, high accuracy optical connector was achieved without using a metallic mold.

We also assumed that it could achieve preferable optical characteristics for optical communications. In this paper, we report on the details of the design, fabrication and the characteristics of our multi-core ferrule based on this new anisotropic etching.

**Keywords** Ferrule, Silicon, Anisotropic etching

## 1. はじめに

インターネットのブロードバンド化に伴い、一般公衆回線においてもデータ通信の大容量化が求められるようになってきている。公衆用データ通信回線の大容量化の方法としては、既存のメタル配線を利用する DSL 通信と光ファイバ通信の2通りあるが、特に光ファイバを家庭内に引き込むことを FTTH (Fiber To The Home) と呼んでおり、今後は主流になると考えられている。

現在の FTTH は PON (Passive Optical Network) とよばれるパッシブ型のパケット通信システムが用いられており、ひとつの光回線を最大で 32 の加入者で共有する回線共有型の通信システムとなっている。しかしながら現況では、き線点 (配線分岐点) 部分から家庭内への光ファイバ敷設が難渋しており、ラストワンマイル問題と呼ばれている。この問題を解決するために、特に光部品の低廉化ならびに多心光ファイバ接続の簡便化求められている。

本研究では、半導体部品製造に用いられる単結晶シリコン基板を用いた異方性エッチング技術によって光ファイバを正確に多数並べ、接続するための多心フェルールの作製を行った。

## 2. 実験原理・方法

## 2.1 異方性エッチングによるV溝形成

単結晶シリコンをアルカリ水溶液でエッチングすると常に一定形状が得られることが知られており、シリコンの異方性エッチングと呼ばれている。代表的なエッチング形状である V 溝構造は光ファイバホルダや半導体部品の素子間分離構造として広く用いられている。

シリコンの異方性エッチングは結晶面のエッチング速度差に起因する。異方性エッチングの代表的なエッチャントには KOHaq があるが、この場合には  $\langle 111 \rangle$  方向のエッチング速度が  $\langle 100 \rangle$  方向や  $\langle 110 \rangle$  方向のエッチング速度に比べて 100 倍以上遅く、エッチングが進行して (111) 面が露出するとあたかもエッチングが停止したように振舞う。特に、 $\langle 100 \rangle$  ウエハを用いてエッチングした場合には断面が V 字状の溝が形成され、この V 字面が  $\{111\}$  となっている。

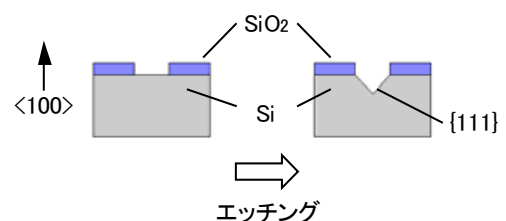


図1 シリコンの異方性エッチングによるV溝形成

\*電子技術グループ

## 2.2 異方性エッチングによるひし形溝形成

酸化膜で覆われた単結晶シリコン基板をダイサーにより溝入れ加工し、異方性エッチングを行うことでひし形溝が形成されることを既に報告した。<sup>1)</sup>

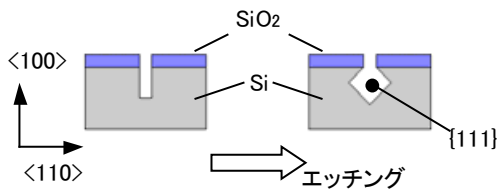
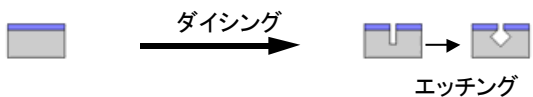


図2 ダイシング溝をエッチングしたひし形溝形成

従来のV溝基板を製作するためには半導体製造技術のひとつであるフォトリソグラフィ技術を用いるのに対して、ひし形溝構造はシリコン基板にダイサーを用いて溝加工した後にエッチングするだけで容易に形成できる特徴を持っている。

### a. ひし形溝



### b. V溝



図3 溝形成工程の比較

## 2.3 面方位の転換

シリコン基板には結晶方向の異なるものがあり、一般に異方性エッチングには面方位<100>のものが用いられる。これ以外には面方位が<110>の基板を用いた異方性エッチングに関しても研究されており断面が矩形のエッチング形状になることが知られている。<sup>2)</sup>

しかしながら本研究においては従来はあまり試みられていない<110>ウエハにおけるV溝形成について考察し、<100>ウエハと同様にひし形を形成可能であることを導き出した。

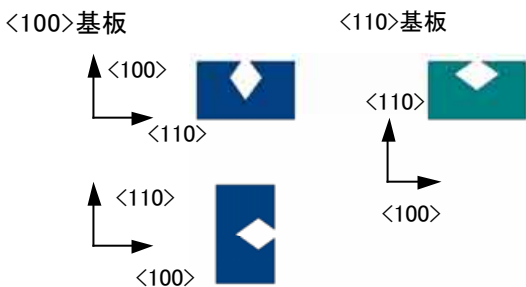


図4 ひし形溝とウエハ面方位の関係

図4の左側が<100>ウエハを用いたひし形溝の断面で、これを90°倒した状態でもひし形溝が形成可能である。すなわち、<110>ウエハにおいてもひし形溝が形成可能であることが予測できる。

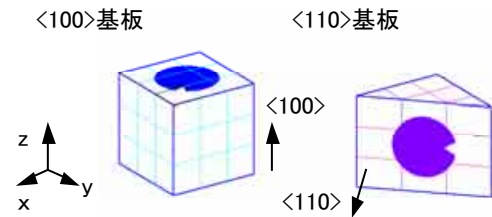


図5 ウエハ面方位の関係

図5はウエハの面方位関係を示したものであるが、<110>ウエハにおけるひし形溝形成のためにはオリフラまたはノッチに対して垂直方向に溝入れを行えばよいことが判る。

<100>ウエハを用いたひし形溝と<110>ウエハを用いたひし形溝を比較すると、<100>ウエハの場合にはひし形溝が深くなってしまうことが判る(図6)。



図6 ひし形溝の比較

## 2.4 ひし形の形成実験と荷重-変位特性測定

実験に用いたシリコン基板は面方位<100>および<110>で、オリフラに対して直交または平行に溝入れを行った。溝の幅はブレード幅である40μm一定とし、ダイシング溝の深さを変化させてエッチング形態の観察を行った。

エッチング液には25wt%のKOHaqを基本とし、これにIPA(イソプロピルアルコール)を添加した溶液でエッチングを行ない比較した。IPA添加によりエッチング形態に変化が現れることが知られている。

次に、ひし形溝を形成した基板の強度がどの程度であるかについて評価するため、幅3mm、長さ30mmに試料を切り出し、梁の長さが20mm一定となるよう固定した後荷重-変位特性を測定した。この時に使用した装置の概観ならびに動作について図7に示す。光部品の特性測定などに用いられるZステージと電子天秤を組み合わせ評価装置を構成した。

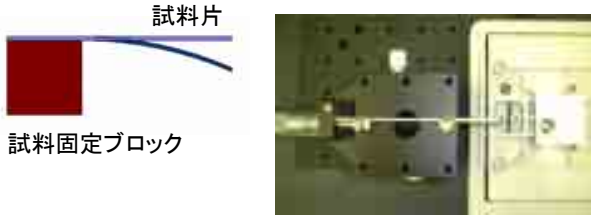


図7 荷重-変位試験

表1 実験条件

1	基板	<100> t0.625mm
		<110> t0.5mm
	保護膜	熱酸化膜 t1.0 μm
2	溝の方向	オリフラに平行, 直交, その他
	溝の深さ	0.1~0.5mm
3	エッチング液	KOH
		KOH + IPA
	温度	60~80℃
	濃度	25wt%

### 3. 結果

#### 3.1 異方性エッチング

<100>ウエハにおけるひし形溝形成過程を図8に、<110>ウエハにおけるひし形溝形成過程を図9に示す。いずれの場合においても、エッチング過程の初期段階において溝の底部のエッチングが完了した後に側部のエッチングが進行していくことが判る。すなわち、シリコンの異方性エッチングの性質として(111)面が露出した段階で見かけ上のエッチングが停止する。

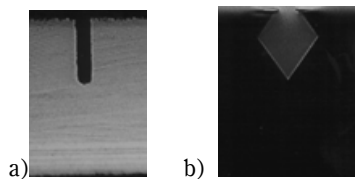


図8 <100>ウエハのひし形溝形成過程  
a) 0min b) KOH 80℃ 180min

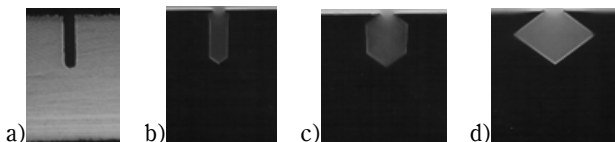


図9 <110>ウエハにおけるひし形溝形成過程  
a) 0min b) 30min c) 90min d) 210min

図8と図9の溝の形は同一径上のひし形がお互いに90°転倒した位置関係になっており、ひし形の角度から

構成面が{111}であることが判る。

さらに、図9における<110>ウエハのエッチング過程では、側部のエッチングが垂直面を維持しながら進行しているのが判る。すなわちエッチング形状の制御が可能である。エッチングを途中で停止し六角形の溝を形成した例を図10に示す。

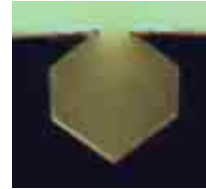


図10 <110>ウエハに六角溝形成

六角形の溝が得られるならば、ひし形溝に対して光ファイバを狭ピッチに配置・保持することが可能となる(図11参照)。また、同一ピッチならば六角溝の方が隔壁が厚くなるため、より堅牢になることは容易に推察できる。



図11 ひし形溝と六角溝の比較

次にKOHにIPAを添加し場合のエッチング結果について図12に示す。<110>ウエハのひし形溝形成過程においてはIPAを添加するとエッチングそのものがほとんど進行しないことが判った。

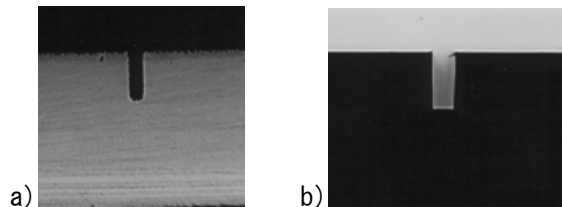


図12 <110>ウエハにおけるKOH+IPAエッチング  
a) エッチング前 b) KOH+IPA 80℃ 110min

#### 3.2 変位-荷重測定結果

荷重-変位特性測定の結果を図13, 図14に示す。各グラフの左側の直線は試料取り付けブロックそのものに荷重を与えた時の測定結果で、この値が誤差として他の測定結果に含まれている。

溝入れを行わない試料の場合には2mm以上の変位を与えても破断せず、その時の荷重も200gを超え測定できなかった。これに対してダイサーを用いて溝入れを行った試料は、<100>ウエハが67gで破断、<110>ウエハは38gまたは46gで破断した。<110>ウエハにおいてカッティング方向によって破断荷重に差が生じるのは構成面方位が異なるためと思われる。

次にひし形溝を形成した場合には<100>ウエハで 80g, <110>ウエハで 95g となり, ひし形溝を形成することによって耐荷重が増加した。<100>ウエハの場合にはひし形溝を形成することによる耐荷重増加の割合は 1.2 倍であるが, <110>ウエハにおいては 2.0 倍の耐荷重となっている。<100>ウエハと<110>ウエハでは試料の厚みが異なるため直接比較はできないが, <110>ウエハに形成した溝は鈍角であるため, <100>ウエハに形成した溝に比べて応力集中が緩和されていることも要因のひとつであると思われる。

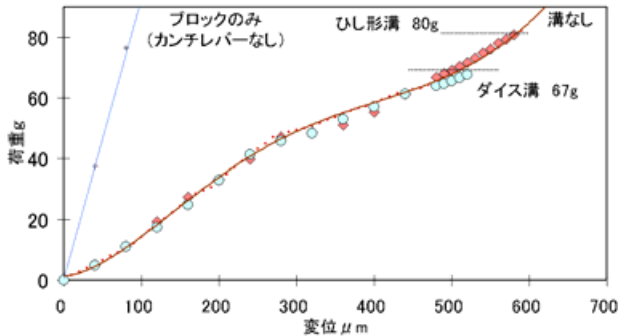


図 13 <100>Si の荷重-変位特性

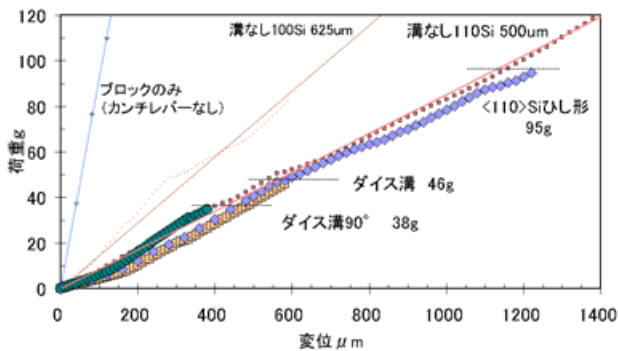


図 14 <110>Si の荷重-変位特性

### 3.3 多心フェルールの試作

ひし形溝を複数配置し,  $\phi 125 \mu\text{m}$  の光ファイバを挿入した例を図 15 に示す。光ファイバを確実に保持できること, 多数の溝を平行に配置できることから, 多心フェルールに適した構造となっていることがわかる。

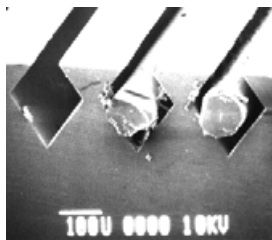


図 15 多心フェルールの試作

シリコン基板に形成したひし形溝をフェルールとして

用いて光コネクタとしたものを図 16 に示す。光コネクタとして機能することが分かった。



図 16 光コネクタの試作

### 4. まとめ

光ファイバの多心接続に必要となる多心フェルールを単結晶シリコン基板の異方性エッチング加工で作製し, 光コネクタに組み込むことで光接続部品として機能することを確認した。

本研究では, 一般に光ファイバホルダとして用いられているシリコン V 溝基板の作製方法を発展させることにより, ひし形の断面をした溝構造を形成する手法を見出した。ひし形溝を構成する面の方位は(111)であり, 常に溝形状が一定になる。

シリコン V 溝基板には<100>ウエハが用いられており, <110>ウエハを用いたエッチング溝加工では V 字ではなく矩形の溝形状が得られることで知られている。しかしながら, 本研究では<110>ウエハを用いた場合でも V 字の溝形状を形成できることを応用して, <100>ウエハと同様に<110>ウエハを用いてもひし形溝を形成できることを確認した。

光ファイバホルダとして考えた場合, <110>ウエハを用いて作製したひし形溝は<100>のそれに比べて溝が浅くなるとともに, 容易にエッチング進行を制御できることを見出した。この結果, <110>ウエハを用いるとひし形溝だけでなく六角形の溝構造を得ることができる。この六角形の溝構造は, 光ファイバホルダやフェルールに適した形状である。

本研究の手法を用いることにより, 従来のフェルール製造において必要であった金型が不要となるとともに, 簡易な工程で高精度の光接続部品を安価に製造することが可能となる。

### 参考文献

- 1) 加沢エリト, 上野武司: 東京都立産業技術研究所研究報告, 都立産業技術研究所, 第 3 号, 117-118 (2000).
- 2) G. Kaminsky: Journal of Vacuum Science Technology, Vol. B3(4), 1015-1024 (1985).

(原稿受付 平成 15 年 7 月 31 日)