

紫外光ファイバの試作と特性評価

The fabrication and characteristic evaluation of ultraviolet light optical fiber

○児玉卓, 石澤広明, 鳥羽榮治, ※植田敏嗣

○T.Kodama, H.Ishizawa, E.Toba, and ※T.Ueda

信州大学繊維学部, ※早稲田大学理工学部

Shinshu Univ. ※Waseda Univ.

Abstract : This paper describes the fabrication of UV optical fiber and their experimental results for characteristic evaluation. It was found that an optical transmission factor in UV wavelength was improved with OH dope optical fiber. Moreover, it was also found that the fiber developed here is able to be applied particle measurement using Laser Induced Breakdown Spectroscopy in UV wavelength.

1. 緒言

今日、半導体工業において微細加工技術が著しく発展し、これまでほとんど無視することができたサブミクロン粒子や超微粒子などが様々な不良の原因（製品の仕上がり、歩留まりなどに悪影響）になりつつある。このために、様々な分野でのサブミクロン以下の空間分解能を有する微粒子の検出・分析・評価方法の開発が重要であり、緊急の課題となっている。

特に、半導体プロセスでの微粒子の計測では、その粒径が $0.1 \mu\text{m}$ 程度であり、粒子を構成している成分をも同時計測ができないなどの問題点を抱えている。

そこでこれらの問題点を解決するために、Fig.1 のようなシステムのレーザーブレイクダウンによる微粒子計測技術が考えられている。

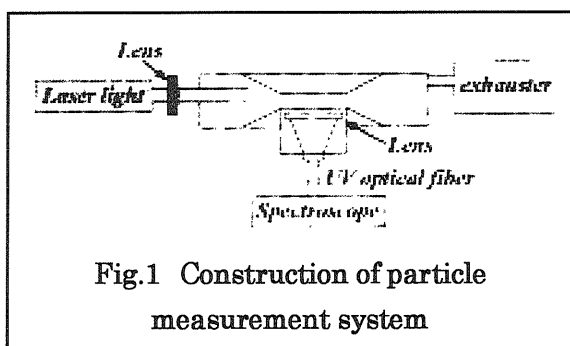


Fig.1 Construction of particle measurement system

レーザーブレイクダウンによる微粒子計測

はレーザー光を用いて微粒子を発光させ、その発光を光ファイバを通して分光器に取り込み微粒子の成分や粒子径を計測するための技術である。この測定技術は、測定対象に外乱を与えないこと、さらに測定量を精密にリアルタイムで計測できる等の利点を持っている。

このレーザーブレイクダウンによる微粒子計測⁽¹⁾に必要な要素技術の一つとして微粒子の発光を分光するために近紫外領域を通過する光ファイバが必要と考えられている。

従って、本研究では、この微粒子計測の実現に必要な要素技術の開発を主要目的とし、VAD (Vapor-phase Axial Deposition) 法により $170\text{nm} \sim 400\text{nm}$ の紫外波長域における高い光透過率を有する分光用の紫外光石英ファイバを試作し、この諸特性を測定・評価し、検討を加えた。

2. 紫外光ファイバの試作⁽²⁾

紫外光ファイバの構造としては光を十分に伝送させるために屈折率差を持たせる構造が必要であり、紫外線の長期照射により生成される吸収損失 (Si - O - Si 分子鎖の欠陥によるもの) の増加を防ぐため、コア材として OH 添加純粋石英ガラスを使用する必要がある。

従って、コア部分に OH 基の添加量として 500ppm 以上の添加が望ましいことが確認され

ている。(3)

さらに、紫外光伝送用光ファイバをバンドル化したときに、より多くの紫外線を効率よくコア内に集める（入射効率を良くするため）ことが重要である。このためには大口径コア、高NA、ステップインデックス型などの光ファイバが望ましい。

本実験で試作した光ファイバの構造と構成を Fig. 2 に示す。

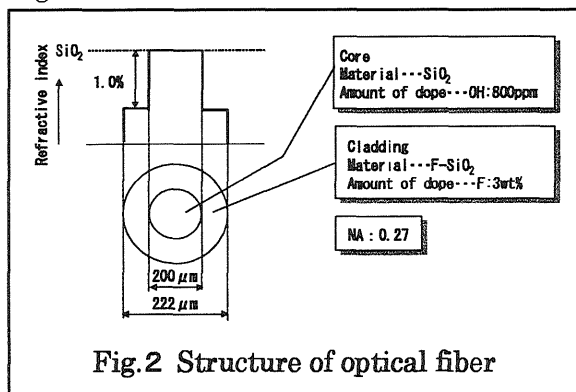


Fig. 2 Structure of optical fiber

本実験では、紫外領域における光透過率を高めるために、コア材として SiO₂ に OH 基を 800ppm 添加したコアと、クラッド材として SiO₂ に F を 3wt% 添加したクラッドの光ファイバを試作した。なお、光ファイバはコアの屈折率が一律なステップインデックス型である。また、比屈折率差は 1.0% であり、NA は 0.27 である。

3. 紫外光光ファイバの特性評価法⁽⁴⁾と実験

試作した紫外光光ファイバの光透過率の測定方法の概略を Fig. 3 に示す。

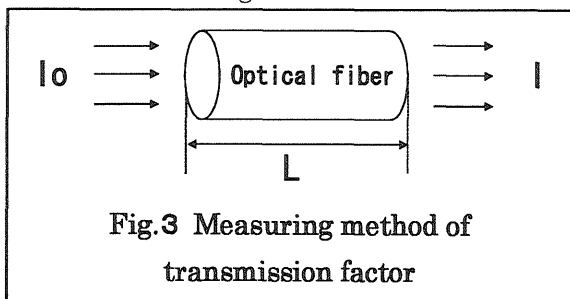


Fig. 3 Measuring method of transmission factor

今、厚さ L の物質に光強度 I₀ の光が入射し、

吸収後の光強度が I になるとすれば、Lambert - Beer の法則により、I は次式で表わせる。

$$I = I_0 e^{-\alpha L} \dots (1)$$

α : 吸光係数

(1)式から吸光係数 α は

$$\alpha = \ln(I_0/I) / L \dots (2)$$

と表すことができる。よって、試料長 L と入射光強度 I₀、出射光強度 I を測定することにより光ファイバの光透過率の測定が可能となる。

Fig. 4 に特性評価実験の概略を示す。

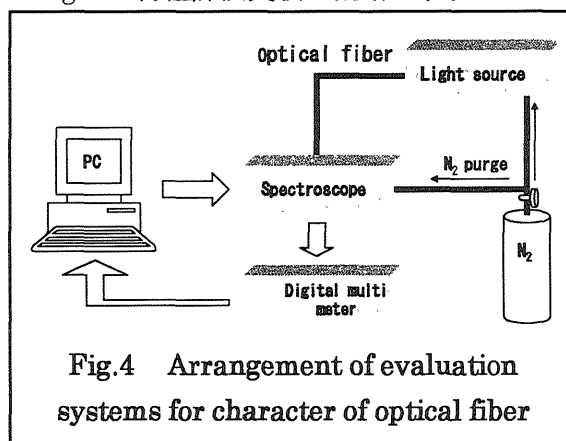


Fig. 4 Arrangement of evaluation systems for character of optical fiber

光源として重水素ランプを用い、この光を試験用単芯ファイバに入射させ、制御用コンピュータと分光器でそれぞれの波長を特定し、デジタルマルチメーターで出射光の光量を測定する。なお、光源・分光器と光ファイバとの光結合効率を高めるために、光ファイバの両端に SUS フェルルールコネクタを取り付けている。

実験では光ファイバの長さを 500mm と 1000mm の 2 種類を使用した。測定波長範囲は 160nm~300nm の範囲で行った。なお、160nm~250nm の間は 5nm 間隔で、250nm~300nm の間は 10nm 間隔でそれぞれの光ファイバに対する光量を測定した。この光量から(2)式とカットバック法を利用してそれぞれの波長での光ファイバの吸光係数 α を次式により求めた。

$$\alpha = \ln(I_0/I) / (L_2 - L_1) \dots (3)$$

半導体プロセスの微粒子計測において微粒子の発光を計測して微粒子の成分計測や粒径計測を行う分析技術としては、その発光波長が

170nm～900nm までの広い波長領域に渡っている。

そのため、これを測定するための要素技術として、波長が 170nm 程度の光を伝送できる光ファイバが必要となるため、本実験では 160nm～300nm までの短波長領域を測定対象としている。また、短波長領域では大気中の酸素の紫外吸収が生じ、測定が著しく低下するため、光源と分光器の内部を窒素でパージして酸素による吸収を排除して測定を行った。

5.実験結果及び考察

Fig.5 に長さ 500mm とした時の OH 添加石英ファイバと OH 無添加石英ファイバの吸光係数と波長との関係を示す。なお OH 無添加石英ファイバの構成を Table 1 に示す。

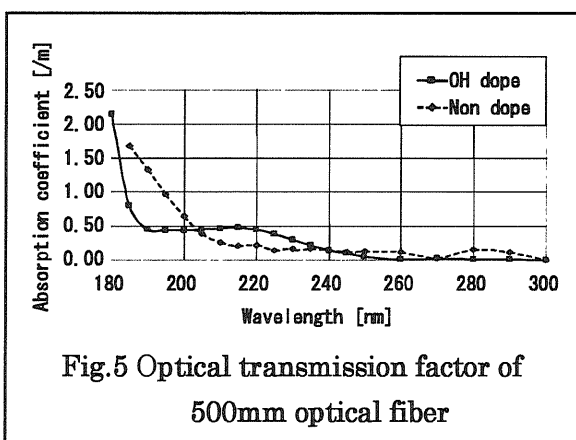


Fig.5 Optical transmission factor of 500mm optical fiber

Table 1 Constitution of optical fiber (Non dope)

Diameter [μm]	Core	180
	Cladding	200
NA		0.26

Fig.5 より、OH 添加石英ファイバは OH 無添加石英ファイバに比べて 185nm～200nm 付近の短波長の光透過性に優れていることが判明した。

また、OH 添加石英ファイバの吸光係数は波長 180nm～195nm 付近まで急激に減少し、そ

の後緩やかに増加して波長 215nm 付近を境に、再び減少し始める。波長 250nm 以降の吸光係数はほぼ 0 になるという傾向が見られた。

これは光源である重水素ランプのスペクトルが Fig.6 のように 160nm あたりでピークを生じ、このためにラマン散乱が生じたものと考えられる。

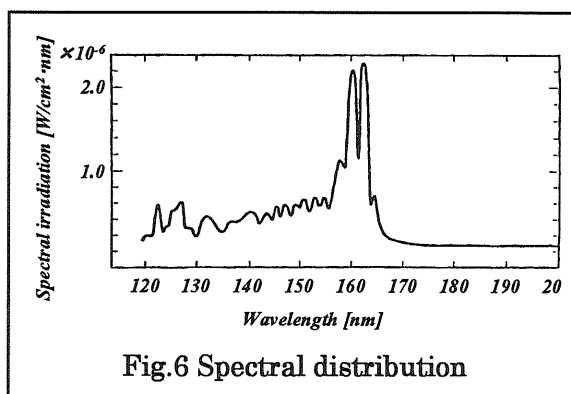


Fig.6 Spectral distribution

さらに、光源の特性を取り除いた吸光係数を測定するために、光源と光ファイバの間にフィルターを入れ、同じ条件のもとで光量を測定した。

フィルターは厚さ 1mm, 3mm, 6mm のサファイア光学ウインドウを用い、そのサファイア光学ウインドウの透過率を Fig.7 に示す。

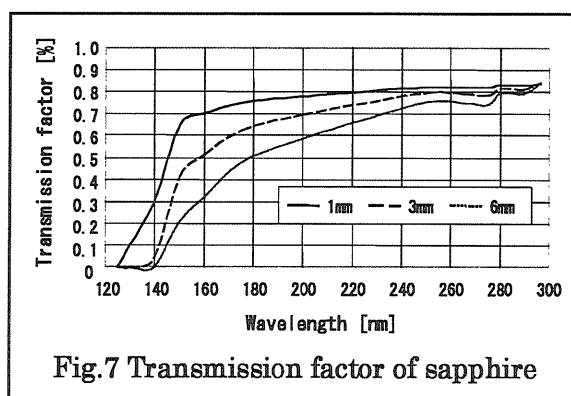


Fig.7 Transmission factor of sapphire

光源と光ファイバとの間に厚さ 1mm, 3mm, 6mm のサファイア光学ウインドウを入れた時の OH 添加石英ファイバの吸光係数と波長との関係を測定した。Fig.8 にフィルター (厚さ 6mm のサファイア光学ウインドウ) を挿入した時の結果

を示す。

なお、比較のために光源と光ファイバとの間にフィルターを入れていないOH添加石英光ファイバの吸光係数の測定結果を Fig.8 に示す。

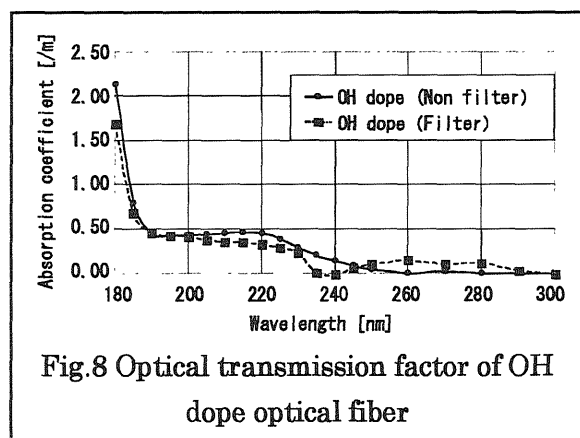


Fig.8 より、光源と光ファイバとの間に厚さ 6mm のサファイア光学ウインドウを入れた時の OH 添加石英ファイバの吸光係数は、波長 180nm ~195nm まで急激に減少して、その後再び緩やかに減少し、波長 235nm 付近で急激に減少する傾向が見られた。フィルターを入れなかった時の OH 添加石英ファイバの吸光係数と比較すると、波長 215nm 付近で吸光係数の緩やかな増加が見られなかった。

この結果、フィルター（厚さ 6mm のサファイア光学ウインドウ）を挿入することにより、光源の特性を取り除いた OH 添加石英ファイバの吸光係数を測定することが可能であると考えられる。

また、光源と光ファイバとの間に厚さ 1mm, 3mm のサファイア光学ウインドウのフィルターを挿入した時は、フィルターを入れなかった時と同様に、OH 添加石英ファイバの吸光係数は波長 180nm~195nm まで急激に減少、その後緩やかに増加して波長 215nm を境に、再び減少するという傾向が見られた。

従って、厚さ 1mm, 3mm サファイア光学ウインドウのフィルターを挿入した時には、光源の特性をカットすることができなかつたと考え

られる。

6.結論

本研究で得られた主な知見は次の通りである。

- 1) コア部に OH 基を添加した石英ガラスファイバは 185nm~200nm の短波長領域での光透過率が優れている。
- 2) 紫外光ファイバの光透過率と波長との関係を測定する際に、光源の特性を考慮して光源と光ファイバ間にフィルター（サファイア光学ウインドウ）を入れることにより、より細かく紫外光ファイバの光透過率を測定することができる。
- 3) 近紫外領域での分光用透過光ファイバとして利用すると微粒子計測の実現が期待できる。⁽⁵⁾

7.参考文献

- (1) 児玉 卓 他；紫外光ファイバの試作と特性評価，計測自動制御学会中部支部シンポジウム，pp.5, (2001)
- (2) 植田 敏嗣 他；レーザブレイクダウン技術開発，フォトン計測加工技術成果報告書，pp.V・22-V・26, (2001)
- (3) 植田 敏嗣 他；光路・分光技術開発，フォトン計測加工技術成果報告書，pp. IV・19-IV・20, (2000)
- (4) 植田 敏嗣 他；光路・分光技術開発，フォトン計測加工技術成果報告書，pp.166, (1999)
- (5) 植田 敏嗣 他；レーザブレイクダウン分光による微粒子成分・粒径計測，第 40 回 SICE, pp.7, (2001)