

## 高耐熱広帯域反射鏡

日本電気硝子株式会社 薄膜事業部

櫻井 武

### Wide Wavelength Range Mirror With High Heat Resistance

**Takeshi Sakurai**

*Thin Films Division*

*Nippon Electric Glass Co., Ltd*

#### 1. 概要

化石燃料を使用しない発電が注目される中、太陽光を利用した発電プラントの開発が続けられている。太陽光を用いた発電には光を直接電気に変える太陽電池と太陽光を熱エネルギーとして蓄え、その熱を発電に用いる太陽熱発電が知られている。太陽熱発電は国内においては日射量の関係から話題に上がる機会が少ないが地中海沿岸地域などでは将来性がある発電方法として期待されている。太陽熱発電ではその熱の確保のため大量の鏡を用いて集光が行われる。鏡はそれ自身でエネルギーを発生することは無いが散逸した光を集め、大きなエネルギーを作り出すことが可能である。このため、太陽熱発電以外にも集光型の発電設備では重要な部材となりうる。

太陽熱発電には楕型反射鏡で太陽光を反射しオイルなどの冷媒が通る集熱管に熱を蓄えるトラフ型、平らな反射鏡を用いた広大なエリアから塔の一点に太陽光を集めるタワー型、皿状の放物鏡で集光した太陽光を熱源として発電を行うエンジンを併せ持つディッシュスターリング型



などの方式があり、各方式に合わせた形状の鏡が使用されている。太陽光を反射する場合、1㎡当たり1kW程度のエネルギーが鏡に入射するが、集光光を反射する場合、より大きなエネルギーが鏡に入射することとなる。発電効率が良いと目される太陽熱発電方法の一つであるビームダウン型では特に集光光を反射する必要がある。当社では新たに100倍程度の集光光を反射可能な高耐熱かつ太陽光の波長範囲のほぼ全域を反射する反射鏡を開発した。

一般的に鏡はガラスに銀やアルミニウムの薄膜を形成して作成される。銀は可視域から赤外域まで高い反射率を有し反射膜として光学機器等で使用される。またアルミニウムは安価で耐

熱性が高く、経時劣化も少なく望遠鏡の反射膜などで使用される。しかし、金属製の鏡は長期的にみて酸化などの化学変化を起こし反射率の低下につながる。また、金属薄膜は機械的な強度も低い。これに対し金属酸化物や金属窒化物を積層して形成される誘電体反射鏡は耐熱性・耐候性に優れていることが知られている。集光光を反射する反射鏡はその使用環境から反射率・耐熱性や耐候性以外に高い平坦性・軽量化（薄板化）なども求められている。今回開発した反射鏡は薄いガラスを基板としながらも平坦性を損なわない様、全体の構成を考慮してある。誘電体膜は単層では反射率が低いため屈折率が異なる薄膜を積層し光の干渉によって反射率を高めている。実際の薄膜形成にはスパッタリング法を用い、緻密で均質な薄膜を膜厚精度高く形成している。

## 2. 鏡の材料

誘電体を用いて作成する鏡の構成物質は基板と反射膜である。基板はその平滑性からガラスが望ましい。反射膜は屈折率が異なる最低二つの材料が必要となる。

### 2-1 ガラス

一般的な鏡にはソーダ石灰ガラスが用いられることが多い。しかし、含有する鉄成分によって赤外域に吸収を持つ。可視光のみを利用する民生用途では問題にならないが、太陽エネルギー全般を利用する太陽熱発電においては無視できないものとなる。一般的に裏面に反射膜が成膜されている金属膜反射鏡では反射光の低下へ繋がる。特に集光光を反射する場合、エネルギー密度が高いため、吸収した熱でソーダ石灰ガラスは容易に破損する。

基板の特性として鉄分が少ないガラスであるとともに、正確な向きに光を反射する為に表面平滑性、ガラス自信が熱で割れにくいように低膨張率であることも求められる。また今回開発した反射鏡は実際の使用条件に合わせた縦1000 mm×横1000 mm、厚さ1.1 mmのサイズである。これらの条件を満たすガラスとしてはサイズ拡大が続いている液晶基板用の無アルカリガラスが適している。特にオーバーフロー法で作られる液晶用板ガラスはその製造工程において溶融しているガラス表面が空気以外に接しないため研磨ガラスと比較して高い表面平滑性を有している。今回の開発ではオーバーフロー法で製造されたOA-10（日本電気硝子製無アルカリガラス）を使用した。ガラスの透過率と太陽光エネルギーの波長分布を図1に示す。OA-10は太陽光のエネルギーに対して高い透過率を持つことがわかる。

2-2 薄膜材料

誘電体反射鏡に用いられる薄膜材料のなかで金属酸化物は光学薄膜として一般的に用いられる。金属酸化物は高温高湿度の環境下でも安定

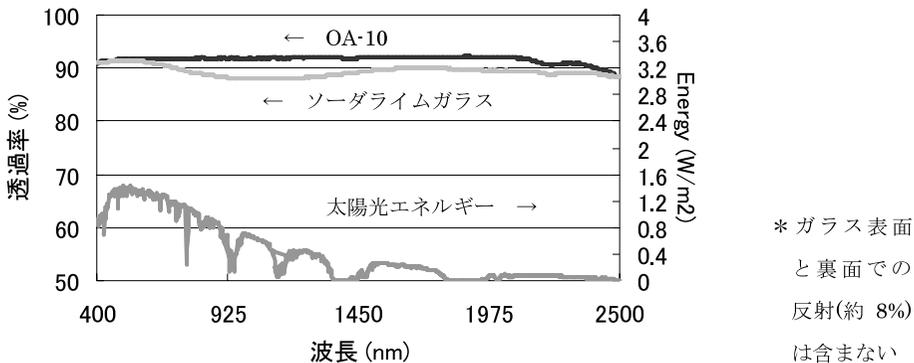


図1 ガラスの透過率と太陽光のエネルギー分布

であるが単体での反射率は低いため、屈折率が異なる2種類以上の透明膜を積層し光の干渉を利用して反射率を高める。この2種類の材料は、屈折率差が大きいほど反射する波長帯域は広くなり、また反射率も高くなるため膜層数の低減へと繋がる。二酸化珪素 ( $n: 1.47@550$  nm) は低屈折率膜の材料として一般的に用いられる。高屈折率材料としては二酸化チタン、二酸化ジルコニウム、五酸化タンタルなど複数種ある。今回の開発では短い波長域 (400 nm ~ 1200 nm) の光の反射膜には透明性と屈折率の高さから五酸化ニオブ ( $n: 2.35@550$  nm) を用いている。また長波長域 (1200 nm ~ 2500 nm) の光に対しては層数と膜厚を削減する為、珪素 ( $n: 3.7@1200$  nm) を用いた。珪素は 1200 nm 以上の波長で透明となる。

### 3. 構成

反射鏡は写真1に示す多層膜をガラスの両面に成膜することにより形作られている。表裏合わせて88層で構成されている。両面成膜することにより薄膜の圧縮応力のバランスをとり基板の反りを低減している。又、光が膜内で多重反射する過程でロスしないよう短波長の光ほど表層で反射されるような膜構成となっている。

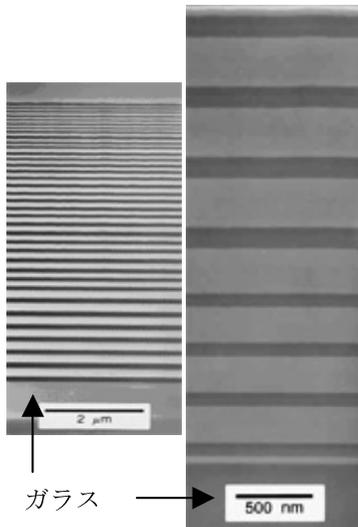


写真1-1 (左) 表面多層膜  
写真1-2 (右) 裏面多層膜

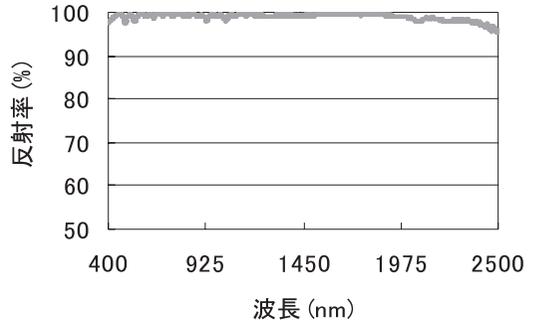


図2 分光反射率曲線

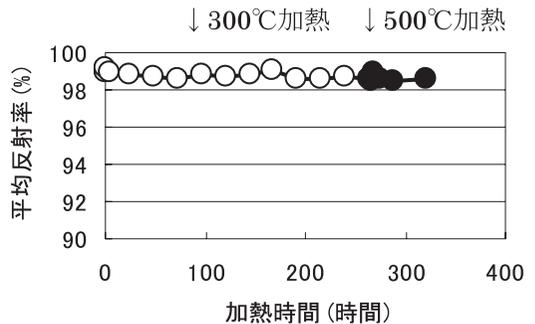


図3 耐熱試験結果

### 4. 性能

図2に反射率、図3に耐熱試験結果を示す。反射率は400 nm ~ 2500 nmの光に対して平均98.8%で、金属中最も高い、銀の反射率を超える。耐熱性の試験は大気中300℃の電気炉に入れて11日間放置した。経時的に反射率の測定を行なったが反射率の低下は見られない。更に500℃24時間の加速試験においても反射率の低下は起こらない。

### 5. 今後について

太陽光のほぼ全波長域の光を反射する広帯域高耐熱反射鏡を製作できた。現在行なっているフィールドテストの結果をみて、更なる量産化を行なっていく予定である。