規則的周期構造を付けた Si 及び Al_2O_3 からの自発的熱放射の測定Measurement of the Spontaneous Thermal Emission from
Si and Al_2O_3 with Regular Periodic Structure○ 齋藤 裕也 (三重大院) 青山 智胤 (三重大工) 正 小竹 茂夫 (三重大工)
正 鈴木 泰之 (三重大工) 正 妹尾 允史 (三重 TL0)Yuya SAITO, Tomotugu AOYAMA, Sigeo KOTAKE,
Yasuyuki SUZUKI and Masahumi SENOO

Key Words: Regular Periodic Structure, Coherent Emission of Light, Spontaneous Infra-Red Spectrum

1. 緒言

通常、熱源からの光の放出は、インコヒーレントであるため、あらゆる方向に広がるのに対し、極性材料による光の放出では、表面近傍のエネルギーが数桁増幅され、部分的にコヒーレントな放出が見られる。近年、その極性材料に周期的な微細構造を施すことにより、より広い空間内でコヒーレントな光を放出することが可能であることが明らかになった^{(1) - (5)}。この放射パターンは、波長に強く依存し、決まった放射角度に指向性のある光の放出が見られる。

これまでの研究では、試料に SiC や、Si 等の半導体を用いたものが多いのに対して、本研究では、試料に Al_2O_3 、Si を用いた。 Al_2O_3 は SiC 等と同じ極性材料であり、同様な現象が予想される。

また、従来の研究では単結晶の極性材料にエッチングや、フォトリソグラフィにより周期的な微細構造を施すことにより、その放射スペクトルについて測定がなされてきたが、 Al_2O_3 試料については、その微粉末を用いた従来の焼結法に型を用いることにより、周期的な微細構造の付いたウェハの作製を試みた。そうすることで、多結晶極性材からも、周期的な微細構造を施すことにより、コヒーレント光の放出が可能であるかの検当を行った。この試料の作製方法はスタンプ方式であり、工業的にも大きな利点がある。

2. 理論

極性材料に周期的な微細構造を導入することによる、格子間隔との相互関係により、表面フォノンポラリトンの励起は一定の周波数 ω により、唯一可能な波数ベクトル $k(\omega)$ を持つ表面波を生む。波数ベクトル $k(\omega)$ と、周波数 ω の関係は次式で表され、

$$\frac{ck(\omega)}{\omega} = \sin \theta$$

また、放射角 θ と、波長 λ との関係は次式の波数間の関係式に従う。

$$\frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta = k_{\parallel} + p \frac{2\pi}{d}$$

ここで、 p は整数、 k は表面波の波数ベクトル、 d は格子間隔である (Fig.1 参照)。

Fig.1 Schematic image of the relation between waves and grating

3. 実験装置及び実験方法

3.1. 試料の作製

3.1.1. Al_2O_3 試料

Al_2O_3 試料の作製は、以下の様である。Fig.2 のように、容器に格子間隔 $2 \mu\text{m}$ の回折フィルムを敷き、その上に Al_2O_3 の微粉末 ($0.1 \mu\text{m}$) を敷き詰め、プレス機で押し固めて型を取った。その後、電気炉内で $1,000^\circ\text{C}$ 1h で焼結した。レーザー顕微鏡写真 (Fig.3) に示すように、焼結後の試料には、 $2 \mu\text{m}$ 間隔の格子パターンが写し取られていた。

Fig.2 Press of Al_2O_3 Powder

Fig3 Surface of Al_2O_3 with Regular Periodic Structure

3.1.2 Si 試料

Si 試料の作製には、半導体製造プロセスを用いた。まず、洗浄した Si ウェハ<100>を回転ステージに乗せ、試料を回転させながら感光剤（東京応化工業株式会社製、OMR83）を数滴塗布した。その後ウェハをホットプレートで 110°C 、90 秒のプリベーキングを行った。

次に、作製したウェハに、周期的微細パターンを付けたフィルムを置き、それと垂直に水銀ランプにより紫外光を照射しフォトリソグラフィを行った。次に、ウェハ上のレジストの露光された部分を薬液で溶かした。薬液には現像液 SG（東京応化工業株式会社製）を用いた。リンス後、ホットプレートで 110°C 、300 秒のプリベーキングを行った。その後、フォトリソグラフィの施されたウェハを KOH 水溶液（ 80°C 、28wt%）でエッチングした。最後に、ウェハ表面に残ったレジストを剥離液で取り除き、アルコール、純水で洗浄し、目的の周期的微細構造を得た。

3.2. 実験装置及び実験方法

試料の自己放出赤外スペクトルを測定するために、赤外線放射率測定装置（日本電子株式会社製 JIR-5300 型）を使用した。実験装置図を Fig4 に示す。測定波長域は $2\text{--}20\ \mu\text{m}$ であり、放射率の測定には試料自身を加熱し、黒体炉からの放出スペクトルとの比を取った。

Fig4 Schematic image of FT-IR analysis

4. 実験結果及び考察

周期的な微細構造を付けた Al_2O_3 試料の、 400°C における $\theta = 0$ での赤外スペクトル測定結果を Fig5 に示す。図からわかるように、 4750cm^{-1} ($\approx 2.105\ \mu\text{m}$) 付近での放射率に着目すると、赤外放射がまったく観測されていない。今回の試料は格子間隔が $2\ \mu\text{m}$ であり、波数間の関係式によれば、 $2\ \mu\text{m}$ 近傍の波長を持つコヒーレント光の放射現象が予想され、これが現れたものと考えられる。これは試料からの光の放射がまったくないのではなく、ある決まった角度に依存した、コヒーレント光の放射がなされているためであろう。

再現性については、同一試料、同じ温度で数回測定をした結果、同じ波長でも多少のばらつきがみられたが、同様な結果が得られた。このばらつきは、Fig3 からわかるように、同一試料でも表面の構造に多少のばらつきがみられることから、実際に装置に照射される位置による誤差であると考えられる。

Fig5 Infrared Spectrum of Al_2O_3 with $2\ \mu\text{m}$ Regular Periodic Structure

5. 結言

今回の測定結果から、焼結した Al_2O_3 のような多結晶セラミクスでも、SiC 単結晶等と同様に、コヒーレント光の放射が観測できた。これは、微粉末による材料でも表面フォノンポラリトンの励起により、表面波が生成されうることを意味し、赤外線の放射特性は結晶状態によらず、試料表面の周期的な微細構造の有無にのみ起因することが予測される。

6. 参考文献

- (1) J.J.Greffet, R.Carminati, K.Joulain, J.P.Mulet, C.Henkel, Phys. 88, 163 (2003).
- (2) M.U.Pralle, N.Moelders, M.P.Mcneal, Phys.Lett., 81, 25, 4685 (2002).
- (3) J.J.Greffet, R.Carminati, K.Joulain, J.P.Mulet, S.Mainguy & Y.Chen, Nature, 416, 61 (2002).
- (4) E. Wolf, Nature, 326, 363 (1987).
- (5) P.J.Hesketh, J.N.Zemel & B.Gebhart, Nature, 324, 549 (1986).