大気圧熱プラズマジェット照射中の溶融シリコン内温度分布解析

Temperature Distribution Analysis in Molten Silicon

during Atmospheric Pressure Thermal Plasma Jet Irradiation

広大院先端研¹ ^O水川 友里¹, 花房 宏明¹, 東 清一郎¹

Hiroshima Univ.¹, ^oYuri Mizukawa¹, Hiroaki Hanafusa¹, Seiichiro Higashi¹

E-mail: y-mizukawa@hiroshima-u.ac.jp

序>高結晶性シリコン薄膜を得るため,結晶化現象の解 明に関して様々な研究が成されてきた[1,2].しかし,溶 融シリコンの温度分布とシリコンの溶融・固化過程を同 時に得ることは実現していない.そこでレーザーによる 非接触温度測定[3]と高速度カメラによる実時間観察を組 み合わせ,大気圧熱プラズマジェット(Thermal Plasma Jet: TPJ)照射中の溶融シリコンの実時間映像・温度分布情報 を同時に得る試みを行った.

実験>サンプルは石英基板(厚さ:525 µm)と,その上に a-Si 膜を 100 nm 堆積したサンプルの2種類を準備し, 温度測定側(サンプル A)と観察側(サンプル B)にセットした.リニアステージは,走査速度 v:1300~1110,500 mm/sとし,基板間距離 d:1.0~2.0 mm とした.TPJ 発生条件は,Ar流量:約2.1~3.2 L/min,投入電力 P:約1.5~1.7 kWとした(Fig.1).高速度カメラの設定は,露光時間:1~2 µs,フレームレート:3000 fpsとし,非接触温度測定の He-Neレーザーの波長は 632.8 nm とした.

結果>まずシリコン溶融温度のキャリブレーションを行 った. サンプル A・B 共に a-Si 膜堆積サンプルを使用し, 同じ個所に TPJ 照射しつつ徐々に速度を落としてシリコ ン溶融直前・直後の温度測定を行った. Fig.2(a)の溶融直 前(赤線)・直後(青線)の反射率から,シリコン溶融に よるピーク波形と石英板の温度変化波形が重なった状態 で観測されると分かり、ピークの始点・終点からシリコ ン溶融時間は約 612µs であることが判明した.熱伝導シ ミュレーションで基板表面温度の経時変化を求め、シリ コン溶融温度を1680Kとして、溶融時間が612µsとなる ように熱光学係数 (thermo-optic coefficient: TOC)補正によ りキャリブレーションを行った (Fig.2(b)). 次にサンプル A に石英基板, B に a-Si 膜堆積サンプルを設置し, TPJ 照射中の溶融シリコン内温度分布解析を行った. 測定で 得た反射率(赤線)に対し実験条件に合わせてシミュレ ーションした反射率(緑線)をフィッティングし(Fig.2(c)), その結果から得た基板表面温度の経時変化から最大到達 温度は約1730 K と判明した (Fig.2(d)). この結果から得 た1680K付近の等温線図と観察画像を重ねて溶融シリコ ン内の温度分布を可視化した(Fig.2(e)). これより溶融域 前方に約 40 K, 後方に約 50 K の過冷却領域が存在するこ とを明らかにした.溶融域前方の過冷却は微結晶領域の 融点の低さから生じるため,結晶化領域に再度 TPJ 照射 した際の溶融域には前方の過冷却領域は観察されないと 予想し、再結晶化時の溶融シリコン温度分布解析を試み た. 結果, 仮説の通り前方の過冷却領域は観察されず, 微結晶領域の融点の低さから生じることを実験的に証明 した (Fig.2(f)). これより溶融域前方に過冷却領域が存在 し,約40Kであることが本研究で初めて明らかとなり, 本研究が a-Si 膜結晶化メカニズム解明のための有用なツ -ルであることを示した.

参考文献>[1] G. J. Galvin, *et. al.*, Phys. Rev. B **27** (1983) 1079. [2] S. Hayashi, *et. al.*, Appl. Phys. Express **3** (2010) 061401. [3] T. Okada, *et. al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 4355.



Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup for analysis of temperature distribution in molten silicon using high-speed camera and non-contact temperature measurement apparatus during TPJ irradiation.



Fig. 2. (a) Transient reflectivity of a-Si film on quartz substrate during TPJ irradiation at 1120 mm/s (red line) and 1110 mm/s (blue line), respectively. (b) Temporal change of a-Si film temperature on quartz substrate for melting point calibration. (c) Measured (red line) and simulated reflectivity (green line) of a quartz substrate. (d) Temporal change of the surface temperature of a quartz substrate. (e) Two-dimensional visualization of temperature distribution in molten silicon. (f) Two-dimensional visualization of temperature distribution in molten silicon during recrystallization (blue dotted line: first crystallized region).