大気圧熱プラズマジェット照射中における a-Si 膜上溶融領域の 温度分布可視化のための *in-situ* モニタリング

In-situ Monitoring for Visualization of Temperature Distribution in Molten Region

on a-Si Film during Atmospheric Pressure Thermal Plasma Jet Irradiation

広大院先端研¹ ^O水川 友里¹, 亀田 朝輝¹, 花房 宏明¹, 東 清一郎¹

Hiroshima Univ.¹, ^oYuri Mizukawa¹, Asaki Kameda¹, Hiroaki Hanafusa¹, Seiichiro Higashi¹

E-mail: semicon@hiroshima-u.ac.jp

序>高電界効果移動度を有する薄膜トランジスタの作製を目 指すには、高結晶性シリコン薄膜を得る必要があり、様々なア プローチにより結晶化現象の解明が試みられてきた[1, 2]. し かし、溶融シリコンの実時間温度測定とその溶融・固化過程の 観察を同時に行う手法は実現していない.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観察・反射率測定を同時に行った. 実験>サンプルは、厚さ 525 µm の石英基板にアモルファスシ リコン膜を 100 nm 堆積して 450 度で 1 時間脱水素処理したサ ンプルを準備し、温度測定側と観察側にそれぞれ 1 つずつセッ トした.ステージは、走査速度 v: 1320~1380 mm/s とし、TPJ-基板間距離 d: 1.5 mm とした. TPJ 発生条件は、Ar 流量 3.0 L/min, 投入電力 P: 1.5~1.6 kW とした.高速度カメラは、露光時間 1 µs, フレームレート 3000 fps とし、非接触温度測定では 632.8 nm の He-Ne レーザーを使用した (Fig.1).

結果>同一サンプルに対して同じ個所に TPJ 照射した際のカ メラ観察・反射率同時測定を行った. Fig. 2(a)の画像では走査 速度 1350 mm/s で形成された固相結晶化・Leading wave crystallization (LWC)が捉えられた. Fig. 2(b)ではこの LWC 領域 に 1320 mm/s で重ねて照射をした際に生じた溶融シリコン (黒 い領域)の後部から,樹状形態の High-speed lateral crystallization (HSLC)が形成された様子を捉えた. Fig. 2(c)では HSLC 領域上 に1350 mm/s で再び重ねて照射を行った. Fig. 2(b)と(c)を比較 すると、(c)の溶融領域の大きさが明らかに収縮しており、結 晶幅も収縮したことが判明した. Fig. 2(d)の赤線は Fig. 2(a)の 観察と同時測定した反射率を表し, 青線は実験条件を元に計算 した光学シミュレーション結果である.この結果を元に熱伝導 シミュレーションを行ったところ,溶融領域における表面温度 の時系列変化グラフを得られた.(Fig. 2(e))これより最大到達 温度は1553 K であることが判明した. Fig. 2(f)は, Fig. 2(a), (b) の実験で得た各々の反射率を重ね合わせたグラフで,赤線グラ フの鋭いピークは溶融シリコンの金属反射によるものである. よって、シリコンの溶融開始時間は 5.4 ms で、固化が完全に 終了する時間は 5.72 ms であった. これより, 溶融持続時間は 0.32 ms であり, 熱光学係数は $n_q = 1.457 + 1.27 \times 10^5 \times T + 0.7 \times 10^9 \times T^2$ (°C)であった. これより熱伝導シミュレーションで算 出した等温線図の1680 Kの線をカメラ画像の溶融領域の幅に 合わせて重ね合わせ,溶融領域内の温度分布を可視化した(Fig. 2(a)~(c)). Fig. 2(a)のLWC 領域の幅(230 µm)と等温線 1545 K 2(a)~(c)). Fig. 2(a)の Ewe 領域の幅(230 µm)と等価級 1345 K の幅(230 µm)が一致したため, LWC 結晶化は 1545 K から開始 することが明らかとなった. また Fig. 2(b), (c)から溶融領域の 前方・後方部分に過冷却領域が存在することを明らかにした. Fig. 2(b)での溶融域前方・後方部分の過冷却度はそれぞれ約 40 K~45 K, 25 K であり, Fig. 2(c)の場合は約 25 K~30 K, 15 K であった. この結果と重ね照射による結晶化において, 溶融領域お よび結晶幅が収縮する点から, 非晶質・微結晶領域での融点は 結晶化領域の融点に比べて低いため, 溶融領域前方部の過冷却 が生じたと考えられる.これより,我々の提案した同時計測が 結晶化メカニズム解明の助けとなることが示された.

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 illustration of an experimental setup combining high-speed camera and non-contact temperature measurement unit for measuring temperature distribution in molten silicon during TPJ irradiation.



Fig. 2. (a)Visualization of temperature distribution on the molten silicon during TPJ irradiation at 1350 mm/s (first scan), (b) 1320 mm/s (second scan) (c) and 1350 mm/s (last scan). (d) Measured (red line) and simulated (blue line) relative reflectivity of a-Si film on quartz substrate corresponding to Fig. 2(a). (e) Time-variation of temperature corresponding to Fig. 2(a). (f) Relative reflectivity of Fig. 2(a) (blue line, same one as (d)) and (b) (red line).