

熱プラズマジェット照射ミリ秒熱処理における 表面緻密化モデルを用いたガラス基板の反り解析

Curvature Analysis of Glass Substrate during Millisecond Annealing Induced by Thermal-Plasma-Jet Using Surface Densification Model

広大院先端研 °田中 敬介, 林 将平, 東 清一郎

Graduate School of Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University,

°K. Tanaka, S. Hayashi, and S. Higashi

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

序 フラットパネルディスプレイ等の大面積エレクトロニクスにおいては安価なガラス基板が用いられるが、アモルファスシリコン膜結晶化等の大きな熱的応力が発生する急速熱処理プロセスにおいて、処理条件によってはクラックが発生する。我々は、急速熱処理時に発生する基板の反りがクラック発生に影響することを報告した [1]。本研究では、急速熱処理による基板の反りを実測と基板表面緻密化モデルを用いた解析により調査した。

実験 大気圧下において Ar ガス流量 (f) 2.8 ~ 4.2 L/min、投入電力 (P) 1.8 ~ 2.0 kW、噴出孔径 2.0 mm より発生した熱プラズマジェット (TPJ) の前面 2.0 mm において、速度 (v) 750 ~ 1250 mm/s でガラス基板 (コーニング社製 Eagle 2000) を掃引することで熱処理を行った。同時に He-Ne レーザ (波長 632.8 nm) を基板裏面より照射し実時間反射率測定を行い、その後熱伝導と光学干渉を考慮した温度解析を行った [2,3]。算出した基板内温度分布を用いて数値解析による反りと触針式段差計による実測の反りを比較した。

結果及び考察 温度解析により求めた熱処理中 ($v = 750$ mm/s, $f = 2.8$ L/min, $P = 1.8$ kW) の各深さ (D) における温度変化を Fig. 1 に示す。 D は基板表面からの深さであり、基板表面が最高温度 (T_{max}) の 90% 以上である時間を熱処理時間 (t_a) と定義する。この処理条件において基板最表面は $T_{max} = 1830$ K、 $t_a = 1.7$ ms を示し、 $D < 30$ μ m において軟化点 (1258 K) を越える温度に達した。この処理条件における基板の反りを求めるために、軟化点を越えた領域において緻密化が発生すると仮定して積層板理論によるモデル [4] を用いた数値解析を行った。この時、多層構造の各界面が連続と仮定し、温度解析より得られた温度 (T_i) から各層の熱ひずみ、面内方向力 (P_i) によるひずみ及びモーメント (C_i) によるひずみを算出し、各層のひずみを和で表した。次に各層の界面でのひずみは等しく、基板内で応力は相殺されるとして以下の 3 式を連立することにより、基板全体の反りを導出した (各パラメータは Fig. 2 参照)。

$$\alpha_i \cdot \Delta T_i(t_m) + \frac{1}{h_i \cdot B \cdot E_i} \cdot \Delta P_i(t_m) - \frac{h_i}{2} \cdot \Delta C_i(t_m) = \alpha_{i+1} \cdot \Delta T_{i+1}(t_m) + \frac{1}{h_{i+1} \cdot B \cdot E_{i+1}} \cdot \Delta P_{i+1}(t_m) + \frac{h_{i+1}}{2} \cdot \Delta C_{i+1}(t_m) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^l \Delta P_i(t_m) = 0 \quad (2) \quad \sum_{i=1}^l \Delta M_i(t_m) + \sum_{i=1}^l \Delta P_i(t_m) \cdot \left\{ \bar{z}_i - \frac{h_i}{2} - \sum_{k=1}^{i-1} h_k \right\} = 0 \quad (3)$$

熱ひずみ、面内方向力によるひずみには熱膨張係数 (α_i)、ヤング率 (E_i) がそれぞれ含まれており、熱処理中に軟化点以上に温度が到達した層は冷却時軟化点以下になると基板の緻密化により α_i 及び E_i は増加する [5,6]。 $T_{max} = 1830$ K で等しく熱処理時間 (t_a) の異なる 2 条件における基板の反りの実測及び解析結果を Fig. 3 に示す。解析結果より、熱処理中では基板表面は上に凸に反るが、熱処理後では下に凸の反りが観察された。また、熱処理後の解析結果と実測結果の反りは非常に良く一致した。この時解析において、緻密化した D は $t_a = 1.0, 1.7$ ms においてそれぞれ 20, 30 μ m であった。この結果から、 t_a 減少に伴う緻密化深さの減少が、反り量を低減させたと考えられ、 t_a 減少がクラック抑制に寄与する可能性があるとして唆される。

結論 TPJ 処理において基板表面の緻密化により基板が下に凸に反り、 t_a の違いによる緻密化深さの違いが、基板の反りに大きく影響することが明らかになった。

謝辞 本研究の一部は、広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所の施設を用い、最先端・次世代研究開発支援プログラム (NEXT プログラム) の支援の下に行われた。

[1] 田中他, 第 73 回応用物理学関係連合講演会 (2012 年秋季) 13-142, 12a-F5-5.

[2] T. Okada, et al., Jpn. J. Appl. Phys **45** (2006) 4355.

[3] 田中他, 第 59 回応用物理学関係連合講演会 (2012 年春季) 13-140, 17p-A6-3.

[4] 永田他, エレクトロニクスシンポジウム論文集 **17** (2007) 219.

[5] D.B. Fraser, et al., J. Appl. Phys. **39** (1968) 5868.

[6] R. Brückner, J. Non-Cryst. Solids. **5** (1970) 123.

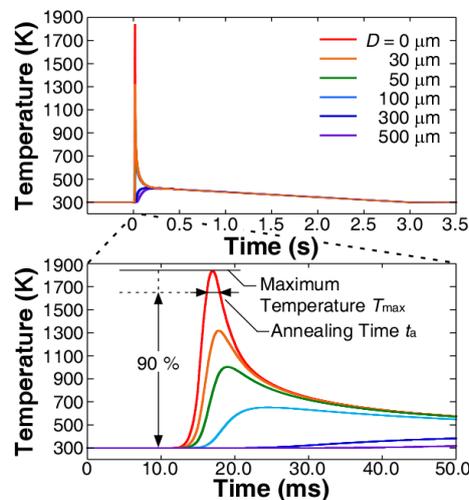


Fig.1 Dependence of glass substrate temperature on time at each D .

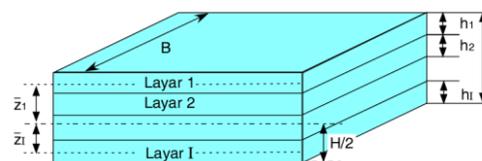


Fig.2 Schematic diagram of multi-layer construction.

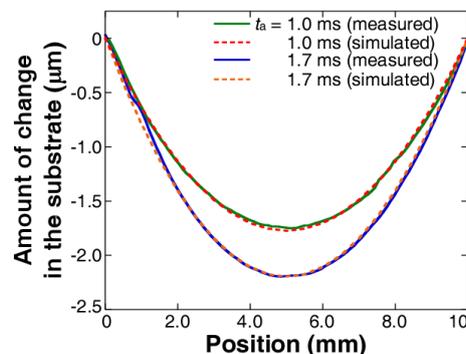


Fig.3 Substrate warps obtained by experiment and simulation at each t_a .