The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	熱応力解析に基づくガラスのレーザスクライブ機構の解明と亀裂進展条件の推定
Author(s)	山本, 幸司
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/49512
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【63】

氏　　名	山　本　幸　司（やま もと こう じ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２９５４　号
学位授与年月日	平成21年３月24日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学　位　論　文　名	**熱応力解析に基づくガラスのレーザスクライブ機構の解明と亀裂進展条件の推定**
論文審査委員	（主査） 准教授　大村　悦二 （副査） 教　授　平田　好則　　教　授　片山　聖二　　教　授　伊東　一良 准教授　阿部　信行

論 文 内 容 の 要 旨

CO_2レーザ照射直後を冷却するレーザスクライブは、パーティクル発生の抑制とガラスエッジ強度の向上というフラットパネルディスプレイ製造の要求を満たす加工法である。しかし、基礎現象の解析がなされておらず、亀裂が進展する加工メカニズムやその適用範囲が明らかにされていなかった。そこで、本研究では、レーザスクライブの信頼性と加工品質の向上、普及の促進を実現するため、レーザ照射実験と有限要素法による熱弾性解析を行い、レーザスクライブ機構を解明した。また、亀裂進展条件が熱応力解析によって簡易に推定できることを示した。以下に、各章の概要を示す。

第1章では、研究の背景、および目的と意義について述べた。

第2章では、板厚0.7 mmのソーダガラス基板を用いたレーザ照射実験に基づく三次元熱弾性解析を行って、レーザ照射によりガラス基板表面が加熱され、その直後の冷却により表層に引張応力が発生して亀裂が進行するレーザスクライブ機構を解明した。表層の引張応力は冷却域内部に生じた圧縮応力場よって助長されることを示した。また、熱応力解析によってスクライブ可能条件を冷却域の表面最大引張応力と加熱域の表面最高到達温度から推定できることを示した。二次元解析によってスクライブ可能条件を推定する方が実用的であることも示した。

第3章では、液晶ディスプレイ（LCD）用ガラス基板の薄板化を考慮し、板厚1.1 mm以下のソーダガラス基板を用いてレーザ照射実験と二次元熱弾性解析を行い、板厚が0.4～1.1 mmであれば板厚に関わらずスクライブ可能条件を推定できることを示した。また、それぞれのスクライブ条件において、冷却域の表面最大引張応力が極大となる板厚が存在し、その板厚は、スクライブ速度が高速になると薄くなる傾向があることを明らかにした。次に、線膨張係数がソーダガラスより小さいLCD用のアルミノシリケートガラスにおいてもスクライブ可能条件を推定できることを示した。線膨張係数が4.2×10^{-6} K^{-1}以上で、軟化点や耐熱温度が975 °C程度以上の硬脆性材料であれば、レーザスクライブができる可能性があることを明らかにした。

第4章では、レーザクロススクライブ実験と三次元熱弾性解析を行い、2次スクライブによって1次スクライブ面が圧接される場合と、2次スクライブの冷却域で1次スクライブ面に生じる摩擦力によってスクライブを進行させる引張応力が伝達される場合の二つの形態で、1次スクライブ線のエッジに初期亀裂を導入していないにも関わらず、2次スクライブが進行することを明らかにした。

第5章では、第2章のレーザスクライブ機構に基づいて、冷却域内部に生じた圧縮応力場を低減すると亀裂が深くなると推測して、レーザ照射を局所的に遮へいしてスクライブ実験を行い、遮へい領域で亀裂が深くなり、遮へい中心で亀裂深さが最大となることを示した。次に、三次元熱応力解析を行い、亀裂が深くなるのは、亀裂の進展を阻害する内部の圧縮応力場が減少、もしくは引張応力場に転じたときに生じることを解明した。

第6章では、レーザ重ね照射実験と二次元熱弾性解析を行って、ガラス基板表層に大きな圧縮応力が生じ、その影響を受けてガラス基板内部に発生した引張応力が亀裂先端に集中することによって、レーザスクライブ亀裂が深さ方向に伸長することを解明した。また、亀裂が伸長するレーザ重ね照射条件を推定できることを示した。

第7章では、本研究で得られた結果を総括した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、フラットパネルディスプレイ（FPD）製造プロセスで多用されつつあるガラスのレーザスクライブについて、加工メカニズムの解明と亀裂進展条件の推定を目的として行われた一連の研究成果をまとめたものである。具体的には、(1) ガラスのレーザスクライブ機構、(2) レーザスクライブにおける板厚と線膨張係数の影響、(3) レーザクロススクライブ機構、(4) 亀裂の局所進展スクライブ、(5) レーザ重ね照射によるレーザスクライブ亀裂伸長、の五つのテーマを取り上げ、レーザ照射実験と有限要素法による熱弾性解析を行っている。

ガラスのレーザスクライブ機構については、レーザ照射によりガラス表面近傍が圧縮状態になった後、直後のウォータージェットによる冷却によって表層が冷却され、表層に引張応力が発生して亀裂が進行することを明らかにしている。表層の引張応力は冷却域内部に生じた圧縮応力場よって助長されること、レーザ照射領域と冷却域の距離が短くなると、内部の圧縮応力が大きいまま浅く位置するようになり、垂直亀裂がこの圧縮場のために湾曲することも示している。また、実験結果に基づいて熱応力解析を行えば、冷却域の表面最大引張応力の下限値と加熱域の表面最高到達温度の上限値から、レーザスクライブ可能条件を推定できることを示している。このレーザスクライブ可能条件の推定方法は、板厚が 0.4～1.1 mm であれば板厚に関わらず適用できること、線膨張係数がソーダガラスより小さい液晶ディスプレイ用アルミノシリケートガラスにも適用できることを示している。このことを踏まえて、セラミックスなどの硬脆材料のレーザスクライブ可能性についても言及し、アルミナセラミックについて実験で実証している。

レーザクロススクライブでは、1 次スクライブ線のエッジに初期亀裂を導入していないにも関わらず、2 次スクライブが進行する。この 2 次スクライブの進行メカニズムとして、2 次スクライブの加熱域で 1 次スクライブ面が圧接される場合と、2 次スクライブの冷却域において、1 次スクライブ面に生じる摩擦力によって引張応力が伝達される場合の二つの形態があることを示している。

さらに、前述のレーザスクライブ機構に基づいて、レーザ照射の一部を遮へいすることで冷却域内部に生じた圧縮応力場を低減して、遮へい領域の垂直亀裂を局所的に深くする方法を提案し、実験によって実証している。三次元熱弾性解析によってそのメカニズムを明らかにしている。また、レーザスクライブ後にスクライブ線に沿ってレーザの重ね照射を行うと、レーザスクライブ亀裂が深さ方向に伸長することを実験的に示している。熱弾性解析によって、ガラス表層に大きな圧縮応力が生じ、ガラス内部に発生した引張応力が亀裂先端に集中することでレーザスクライブ亀裂が伸長するメカニズムを明らかにしている。亀裂が伸張するレーザ重ね照射条件を推定できることも示している。

以上のように、本研究によってレーザスクライブ機構が解明され、亀裂進展条件が簡易に推定できるようになったことは、ガラスのレーザスクライブの信頼性と加工品質の向上、普及促進につながる。明らかになったレーザスクライブ機構や亀裂進展条件の推定方法は、レーザスクライブを一般の脆性材料に適用する際の指針にもなり、レーザスクライブが、FPD 製造におけるガラス基板分断工程に限らず、さまざまな分野において適用されるようになることが期待される。このように、本論文における一連の研究成果は、学術面での独創性と完結性、ならびに工業的有用性が認められ、生産科学と生産加工の分野へ寄与するところが大きい。よって論文は博士論文として価値あるものと認める。