

画像計測高精度化のための超音波定在波による空気揺らぎの抑制

第二報：粒子画像流速測定法による観察

星 貴之*, 早田 滋**

Suppression of Air Disturbance by Ultrasonic Standing Wave for Improvement of Vision Sensing
2nd Report: Observation by Particle Image Velocimetry

Takayuki HOSHI* and Shigeru HAYATA**

In the previous paper, we proposed a method to stabilize the air over a heater by ultrasonic standing wave for better vision sensing. The phenomenon was not fully understood. This paper reports the observation results by particle image velocimetry.

Key Words. air disturbance, thermal convection, ultrasonic standing wave, vision sensing, particle image velocimetry

1. はじめに

半導体製造プロセスの後工程には IC/LSI チップを回路基板の電極に接続する作業（ボンディング）があり、その位置決めは主に画像計測によってなされている。ボンディングは通常 200~300°C のヒーター上で IC/LSI チップ回路基板を加熱しながら実施される。外乱によって空気が揺らぐと、温められた空気が常温の空気と混ざり合い、光路上の屈折率が時間的に変動して画像計測の精度が低下する問題（陽炎）が知られている。

筆者らは陽炎に対する新たな解決法として、超音波定在波を利用する方法を提案している¹⁾。ヒーターの上に置かれた IC/LSI チップを直上からカメラで撮影する計測系において、その光路を挟むように超音波発信機と反射板を設置する。発信機から超音波ビームを照射し、入射波と反射波の重ね合わせによって定在波を生じさせる。定在波の中では超音波ビーム方向に音圧の腹と節を繰り返す周期構造が形成される。この構造によって、超音波ビームを横切る光路上の空気の揺らぎが抑制され、その結果として屈折率が変化しにくくなり、画像計測の精度を向上させることができる。

前報¹⁾では提案手法により陽炎の影響が抑制されて画像計測の精度が向上することを実験的に確認した。しかしどの

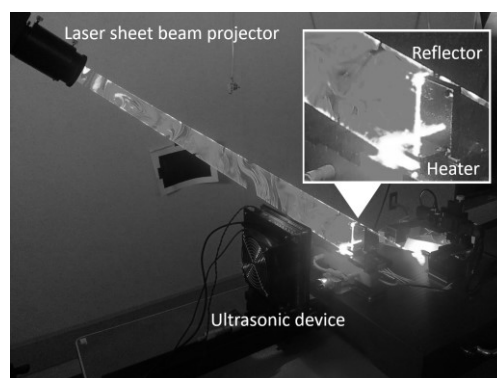


Fig.1 Experimental setup of particle image velocimetry.

ような機序によって定在波の中で空気の揺らぎが抑制されるかについては、音響流あるいは熱音響流によって超音波ビーム方向の流れあるいは力が生じ、それが外乱に抗する駆動力になるのではないかという仮説を提示するにとどまっていた。

本報では、超音波定在波によって空気の揺らぎが抑制される現象について理解を深めることを目的とし、定在波の中の空気の流れを観察した結果を報告する。

2. 実験

粒子画像流速測定法（PIV, Particle Image Velocimetry）により空気の流れを観察した。実験系の外観を Fig.1 に示す。IC チップを載せたヒーターを挟むように超音波（40 kHz）発信機と反射板を設置し、定在波を生じさせた。超音波ビームの中心軸をヒーター表面から 12.75 mm の高さに設定した。霧発生器により超音波ビームが存在する空間に霧（グリコール 30%, 水 70%）を充填させた。レーザー装置（PIV Laser G2000, カトウ光研株式会社）を用いて超音波ビームの経路

* ピクシーダストテクノロジーズ(株)
東京都千代田区神田三崎町 2-20-5

** (株) 新川 東京都武蔵村山市伊奈平 2-51-1

* Pixie Dust Technologies, Inc., 2-20-5, Kandamisaki-cho,
Chiyoda-ku, Tokyo

** Shinkawa Ltd., 2-51-1 Inadaira, Musashimurayama, Tokyo

(Received February 1, 2021)

(Revised March 12, 2021)

と平行になるようにシートビームを照射した．そして高速度カメラ (k5, カトウ光研株式会社) を用いて観察した．撮影条件はフレームレート 1000 fps, シャッタースピード 1/2000 sec, ウィンドウサイズ 640×480 px とした．

3.1 側面からの観察

定在波の中の空気の流れを側面から観察した．**Fig.2** に室温 20°C の場合と設定温度 200°C でヒーターを作動させた場合の結果を示す．室温 (**Fig.2 (a)**) では超音波ビーム (太矢印) の中心軸付近において定在波の音圧の腹から節へ向かって霧が渦を巻く (細矢印) 様子が観察された．しかしその渦は画像中において時計回りのみであり, 理由は不明であるが反時計回りのものは見られなかった．またヒーター表面付近では特筆すべき流れは生じていなかった．一方, ヒーターを作動させた場合 (**Fig.2 (b)**) には超音波ビーム (太矢印) の中心軸付近における渦は観察されなくなり, 新たにヒーター表面近くに高さ 4 mm 程度まで立ち上る渦 (細矢印) が観察された．渦は定在波の音圧の節で下向きに流れ, ヒーター表面に当たって音圧の腹の方へ向かい, そこで立ち昇った後に小さくもう一回転していた．すなわち音圧の腹の位置では空気が上方向のみに流れていることが確認された．

3.2 上面からの観察

レーザーシートビームの向きを垂直 (**Fig.1**) から水平に変更して, ヒーターを作動させた状況で上面から観察した．レーザーシートビームを渦の上面 (高さ 4 mm) に合わせた場合 (**Fig.3 (a)**) には, 定在波の音圧の腹から節に流れる周期的な構造 (細矢印) が観察された．これは渦が腹で立ち昇り, 節で下向きに流れるという, 側面からの観察と整合性がとれている．レーザーシートビームを超音波ビーム中心軸上 (高さ 12.75 mm) に合わせた場合 (**Fig.3 (b)**) には, 超音波ビーム (太矢印) に沿ったような流れ (細矢印) が観察された．このような流れがあるとはいえ不規則ではないため, 画像計測の精度への影響は小さいと考えられる．

3. おわりに

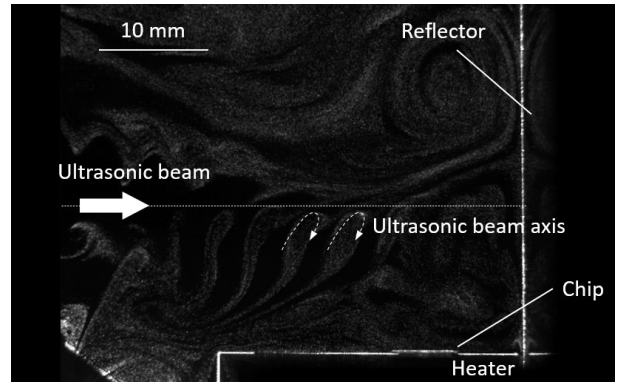
本報では, 前報にて提案した陽炎抑制法について, 空気の流れを PIV によって観察した．その結果, ヒーターによって温められた空気が超音波定在波の中で渦を巻き, 空気の左右方向の揺らぎを抑制することが確認された．今後の課題としては陽炎抑制を最大化する条件の特定が挙げられる．

謝辞

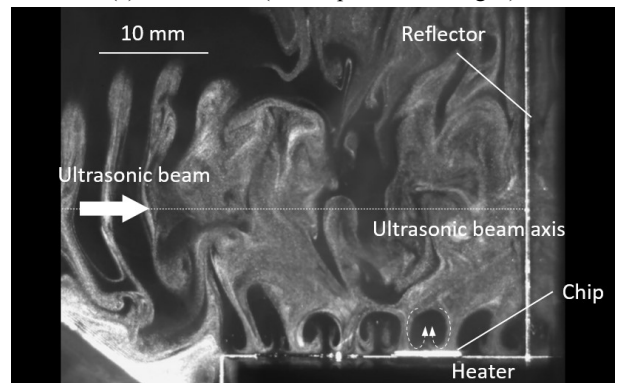
本研究の一部は JST マッチングプランナープログラム「探索試験」(MP27115663065) の支援を受けて実施された．

参考文献

- 1) 星貴之, 早田滋: 画像計測高精度化のための超音波定在波による空気揺らぎの抑制, 計測自動制御学会論文集, 52-10, 518/523 (2016)

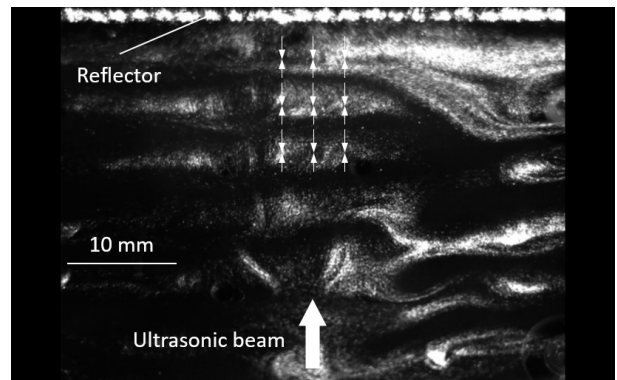


(a) Heater OFF (air temperature 20 deg C)

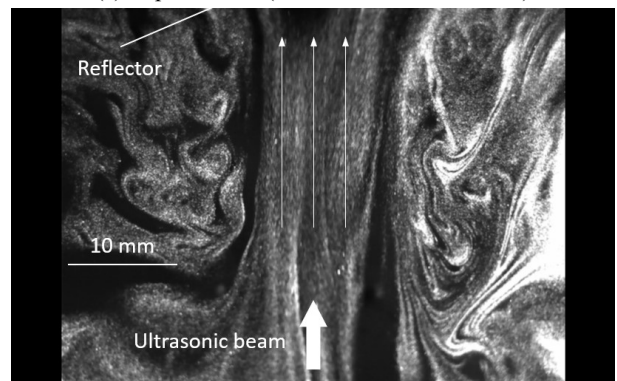


(b) Heater ON (preset temperature 200 deg C)

Fig.2 PIV results (side view)



(a) Top of vortex (4 mm from heater surface)



(b) Center of ultrasonic beam (12.75 mm from heater surface)

Fig.3 PIV results (top view) (heater ON, 200 deg C)