

## 研究 成 果 報 告 書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		有機溶媒を使わないシリコンウエハ表面のレーザードライイングプロセスに関する研究			
研究テーマ (欧文) AZ		Laser Drying of Silicon Wafers without Using Organic Solvents			
研究氏 代 表 名 者	カナ CC	姓)	名)	研究期間 B	20 03 ~ 20 05 年
	漢字 CB			報告年度 YR	20 年
	ローマ字 CZ	Lu	Yongfeng	研究機関名	
研究代表者 CD 所属機関・職名		米国ネブラスカ大学電気工学科 助教授			
<p>概要 EA (600 字～800 字程度にまとめてください。)</p> <p>レーザードライイングプロセスに関わる各要因を調べた。シリコン表面における水膜の膜厚、リフトオフ速度および除去時間を詳しく観測した。水膜のリフトオフ速度と除去時間は 632.8 nm の波長を持つ He-Ne レーザーで測定し、その膜圧はフリエ変換赤外スペクトル測定法で計測した。一次元シミュレーションを用いて、レーザー照射時の基板表面温度上昇を計算した。</p> <p>レーザー照射時の窒素ガスの流量が増加することによって、シリコン基板表面の水膜の除去の所要時間も増加する傾向を示した。フリエ変換赤外スペクトル測定法による計測された水膜の平均膜圧は 800 ナノメートルである。水膜の除去所要時間は光プローブ法で数百マイクロ秒であることがわかった。水膜のリフトオフ速度は 10 m/s まで達した。レーザーパルスのエネルギー密度が 200mJ/cm<sup>2</sup> の場合、水膜の除去所要時間は 400 マイクロ秒かかることがわかった。200mJ/cm<sup>2</sup> のレーザーパルスエネルギー密度によって生成する基板温度上昇は 145 - 180 °C 程度であることを一次元シミュレーションと SLIM 計算でわかった。</p> <p>本研究では、レーザードライイングプロセス中の水分子の振る舞いを分子ダイナミクスシミュレーション法によって解明した。広く使われている TPI4P ポテンシャルを利用し、水素原子と酸素原子間の Van der Waals 相互作用と電気力をモデル化した。そして、9-3 ポテンシャルをつかって、水分子と基板表面の相互作用をシミュレートした。詳細のテストによって、本研究で開発した分子ダイナミクスプログラムは基板上の水の液体構造および基板表面との相互作用が精度良く反映できる。このプログラムを用いて、各条件での水膜加熱状況を調べた。</p> <p>シミュレーションの結果から、基板表面の短時間(ピコ秒程度)レーザー加熱することによって、水膜が高速で蒸気化して基板表面から飛び上がることがわかった。表面から飛び上がる蒸気速度は毎秒数十メートルに達する。レーザードライイングされた基板表面の水分子は殆んど残らず、高いドライイング効率を得られている。</p>					
キーワード FA	表面ドライイング	有機溶媒	シリコンウエハ	レーザードライイング	レーザードライイング

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA									
研究機関番号 AC					シート番号									

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>	Simulation of Ballistic and Non-Fourier Thermal Transport in Ultra-fast Laser Heating							
	著者名 <sup>GA</sup>	J. Xu and X. Wang	雑誌名 <sup>GC</sup>	Physica B					
	ページ <sup>GF</sup>	213～226	発行年 <sup>GE</sup>	2	0	0	4	巻号 <sup>GD</sup>	351
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>								
	著者名 <sup>GA</sup>		雑誌名 <sup>GC</sup>						
	ページ <sup>GF</sup>	～	発行年 <sup>GE</sup>					巻号 <sup>GD</sup>	
雑誌	論文標題 <sup>GB</sup>								
	著者名 <sup>GA</sup>		雑誌名 <sup>GC</sup>						
	ページ <sup>GF</sup>	～	発行年 <sup>GE</sup>					巻号 <sup>GD</sup>	
図書	著者名 <sup>HA</sup>								
	書名 <sup>HC</sup>								
	出版者 <sup>HB</sup>		発行年 <sup>HD</sup>					総ページ <sup>HE</sup>	
図書	著者名 <sup>HA</sup>								
	書名 <sup>HC</sup>								
	出版者 <sup>HB</sup>		発行年 <sup>HD</sup>					総ページ <sup>HE</sup>	

## 欧文概要 EZ

Research work has been carried out to address the factors governing laser drying process, during which thickness of water thin film, lift-off velocities and water layer removal time on Si substrate surfaces were monitored. Monitoring of both lift-off velocities and water thin film removal time was carried out using He-Ne laser of 632.8 nm wavelength. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to measure the water thin film thickness on the substrate surfaces. 1D simulation was used to estimate the temperature increase on the material surface upon laser irradiation.

With the increase in nitrogen flow rate, the time taken to remove the water thin film from the Si surface increases. The average thickness of the water thin film on the Si surface was found to be 800 nm using FTIR technique. Water thin film removal time was found to be a few hundreds of microseconds using the optical probe techniques. Lift-off velocities as high as 10 m/s were observed above the substrate surface. It was found that it takes 400 μs to remove the steam layer from the Si surface at 200 mJ/cm<sup>2</sup>. Temperature rise of 145 – 180 °C at a fluence of 150 mJ/cm<sup>2</sup> was obtained using both the 1D simulation and SLIM calculations.

In this work, molecular dynamics (MD) programs have been developed to study the behavior of water molecules in laser-assisted surface drying. The widely-adapted TPI4P potential is used in the program to model the Van der Waals interaction and electric force among H and O atoms. In addition, the 9-3 potential is used in the program to simulate the interaction between water molecules and the to-be-dried substrate surface. Detailed and systematic tests showed that the developed MD programs worked well in terms of reserving the liquid structure of water on the substrate surface and predicting the water interaction with the surface. Different cases for heating of the water films from the substrate surface have been explored using the newly developed MD programs. The simulation showed that upon fast laser heating of the substrate surface (~picoseconds), the water film was quickly vaporized and ejected from the substrate surface. The moving speed of the ejected water liquid was in the order of tens of m/s. After drying, there were few water molecules remained on the substrate surface, indicating the very high effectiveness of laser-assisted surface drying.