

nanoGALF 技術を用いた超高密度ナノバブル生成システムの開発と精密洗浄への応用

Development of ultra high density nano-bubbles generation system by nanoGALF technology and its application to precision cleaning

○ 柏雅一 (IDEC) 前田重雄 (IDEC) 小林秀彰 (IDEC) 木村春昭 (IDEC)

石田芳明 (IDEC) 藤田俊弘 (IDEC) 寺坂宏一 (慶應大)

○ KASHIWA Masakazu, MAEDA Shigeo, KOBAYASHI Hideaki, KIMURA Haruaki, ISHIDA Yoshiaki, FUJITA Toshihiro, TERASAKA Koichi

Abstract Even though using nano-bubble water for precision cleaning is extremely effective, nano-bubble water could not be used for precision cleaning that uses a filter, because nano-bubbles with a diameter of 100 to 200nm cannot pass through the filter mesh of several tens of nanometers, which has been used in recent precision cleaning. We have succeeded, by improving the GALF system, in generating nano-bubble water that maintains nano-bubbles even after passing through the filter.

Keywords: Precision cleaning, Nano-Bubble, Filter, Semiconductor cleaning, Medical device cleaning

1. 緒言

近年、気泡直径が $1\ \mu\text{m}$ 以下のナノバブルを 1ml あたり $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$ 個含んだナノバブル水が、通常の水と異なった性質を示すため様々な分野で注目を集めている。

このナノバブル水の精密洗浄への応用としては、ナノバブル水を半導体分野のウエハー上に付着した固体粒子汚れの洗浄に著しい効果があることが、2004 年に矢部らによって報告されている (Table 1-I) [1]。

現在の精密洗浄においては、半導体分野での洗浄物への微粒子の混入を最小限に抑える目的や、医療分野でのウイルス除去の目的で数 10nm のフィルターが洗浄槽の直前に用いられることが多くなっている。(Table 1-II)

この数十 nm のフィルターがナノバブルに与える影響の調査と、このフィルターの問題を回避した nanoGALF 技術を応用した精密洗浄向けのナノバブル生成方式を開発したのでここに報告する。

2. フィルターがナノバブルに与える影響

ナノバブル水を洗浄水の原水とした場合、現在の精密洗浄で用いられている洗浄槽直前にフィルターを設けた方式がナノバブルに与える影響を調査した。

2.1 試験装置・試験方法

既存設備にナノバブル水を用いた場合のフローを (Table 1-III-B) に示す。

本試験は、あらかじめ蒸留水を原料として製造したナノバブル水 (平均気泡径 183nm 気泡数密度 5.6×10^7 個/mL) を原水として 50nm のフィルターを通過させた場合のフィルター通過後のナノバブルの計測を行った。ナノバブルの計測は、NanoSight 社製の LM10 を用いて行った。

2.2 試験結果および考察

試験結果を (Table 1-III-D) に示す。本試験結果によるとフィルター通過後は、液中のナノバブル数は計測器の測定限界以下になった。このことは、ナノバブルが 50nm のフィルターを通過することが出来なかったためと考えられる。これは、あらかじめ生成したナノバブル水はフィルターを用いた精密洗浄に用いることが困難であることを意味している。

また、ナノバブルがフィルターを通過できなかった原因

として、ナノバブルは通常の気泡のような変形が容易なものでないことが考えられる。

3. nanoGALF 技術を用いた精密洗浄向けナノバブル供給方式の試験

nanoGALF 技術によるナノバブルは、気体が加圧溶解した加圧水をナノバブル生成用に最適化されたナノノズルで減圧し、気体をナノバブルとして析出させることで製造される。本方式においてナノノズル通過直前の加圧水中の気体は、水に溶解している状態になる。そこで、この性質を利用してフィルター通過後にナノバブルを生成する方法を試験した [2]。

3.1 試験装置・試験方法

nanoGALF 技術を用いた場合の試験装置のフローを (Table 1-IV-B) に示す。本装置は、以下の動作でナノバブルを生成することを予測し製作した。

- ・ 吸引器で混合された気体と液体が、ミキシングボックスに流入する。
- ・ ミキシングボックスは加圧状態であり、ここで気体が液体に加圧溶解した加圧水が形成される。
- ・ ミキシングボックスで形成された加圧水は、フィルターを通過することで微粒子が取り除かれナノノズルに流入する。ここで、ナノバブルを形成する気体は、水に加圧溶解した状態であるため数十 nm のフィルターを通過することが可能である。
- ・ ナノノズルで加圧水は、減圧による気泡析出とせん断作用で、ナノバブルが発生しナノバブル水を形成する。

本試験は、原水にナノバブルを含まない蒸留水を使用し 50nm のフィルターを使用し、ナノノズル通過後のナノバブルの計測を行った。ナノバブルの計測は、NanoSight 社製 LM20 を用いて行った。

3.2 試験結果および考察

試験結果を (Table 1-IV-D) に示し、ナノバブルの粒子径と気泡数密度の関係を Fig.1 に示す。本試験結果によると本装置で製造したナノノズル通過後の水に 4.4×10^7 個/mL のナノバブルが確認されている。Fig.1 によるとナノバブルは、 $100\text{nm} \sim 200\text{nm}$ をピークに分布していることがわかる。この分布は、nanoGALF 技術によって得られる一般的なナ

ノバブル分布と同一傾向を示している[3]-[4]。

これらのことから、気体が加圧溶解した状態でフィルターを通過し、その後、ナノノズルを通過することによりフィルターの下流側でナノバブルが生成可能であることが明らかとなった。

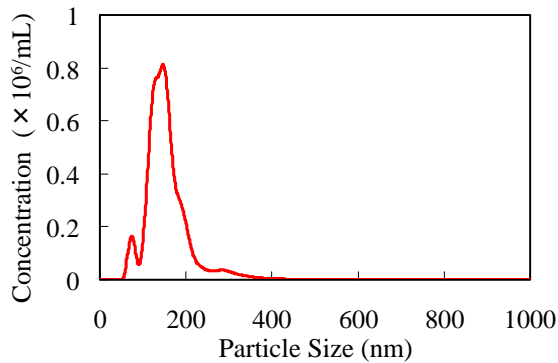


Fig.1 Population distribution of nano-bubbles in downstream filter analyzed with Nanosight

4. 結言

本研究により、平均気泡径が百数十 nm の大きさのナノバブルが精密洗浄で使用されている数 10nm のフィルターを通過できないため、現状の精密洗浄の供給水をナノバブル水に変更するだけでは、洗浄槽にナノバブルを供給できないことを明らかにした。

nanoGALF 方式は、気体を溶解状態でフィルターを通過させ、その後のナノノズルでナノバブルを生成することで、この問題を回避し洗浄槽にナノバブルを供給できることを明らかにした。これは、加圧溶解-減圧析出方式でナノバブルを生成している nanoGALF 方式の大きな特徴であり、産業応用への展開が今後広く期待できる。

参考文献

- [1] 矢部彰ほか, Jour.HTSJ, Vol.43, No.183 pp. 16-18 (2004)
- [2] 柏雅一ほか, 日本混相流学会年会講演会 pp.428-P429 (2011)
- [3] 前田重雄ほか, 分離技術会年会 2011 講演会 pp. 61 (2011)
- [4] 前田重雄ほか, 日本混相流学会年会講演会 pp.430-431 (2011)

Table1 Comparison of methods for precision cleaning and experimental results using nano-bubbles

	A	B	C	D	E
	Precision cleaning method	System flow	Number of nano-bubbles in source tank (/mL)	Number of nano-bubbles in washing tank (/mL)	Applicability of nano-bubbles
I	Nano-bubble method (A. Yabe et al.)				○ (Applicable)
II	Current method		No use	No use	✕ (Non Applicable)
III	Nano-bubble method		5.6×10^7	< detection limit	✕ (Non Applicable)
IV	Nano-bubble method with GALF technology		< detection limit	4.4×10^7	○ (Applicable)