

## マイクロバブル・ナノバブルの SEM 中その場生成

高原 光司<sup>1</sup>, ○鈴木 哲<sup>1</sup><sup>1</sup> 兵庫県立大学高度産業科学研究所

## In-situ formation of micro- and nanobubbles in a scanning electron microscope

Koji Takahara<sup>1</sup> and ○Satoru Suzuki<sup>1</sup><sup>1</sup> Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

## 1. はじめに

マイクロバブル、ナノバブルは農業・水産業、清掃、排水処理、シャワー、洗濯機など様々な分野で利用されるようになってきている。しかし、これら水中に存在する微細なバブルを分析することは困難であるため、その存在は未だ多くの謎に包まれている。

電子照射によるナノバブルの生成・観察例として透過電子顕微鏡 (TEM) 中の大照射線量を用いた研究が幾つか報告されている[1,2]が走査電子顕微鏡 (SEM) 中での報告例はない。今回我々は、SEM 中の低線量の照射によりサーフェスマイクロバブル、ナノバブルをその場生成し、成長過程や断面形状を観察することができた[3]。

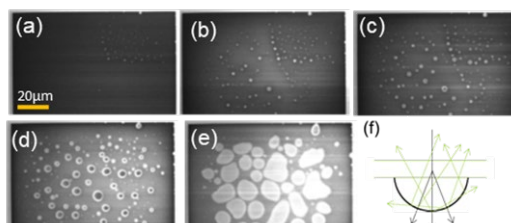
## 2. 実験

Si および SiN 膜を電子透過窓とし、純水を封止した液体セルを作製した。典型的な膜の厚さは 15 nm、膜の面積は 100  $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$  である。電子照射および観察は走査電子顕微鏡 (JEOL, JSM-6700F) を用いて、真空中、室温で行った。

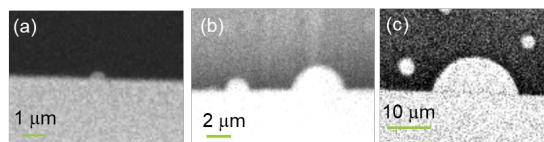
## 3. 結果

Fig.1 にマイクロバブル形成過程の SEM 像を示す。(a)では、先だって照射された右上の部分にのみナノバブルが見られている。(b)-(d)では、新たに多くのナノバブルが発生し、時間の経過とともにマイクロバブルに成長する様子が観察されている。更に照射を続けると(e)のように成長したバブルが重合し、約 20  $\mu\text{m}$  の大きなマイクロバブルが形成された。本研究で観測しているバブルは電子透過窓と水の界面に形成されたサーフェスバブルである。本研究でバブル生成が観測された最小の照射線量率は  $1.3 \times 10^{11} \text{ e}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$  であり、この値は TEM 研究で報告されている値に比べ 5-7 桁も小さい。小さい線量でのバブル生成には液体セル内の圧力が低いことが重要であることが示唆された。

サーフェスバブルの断面構造はこれまで主に AFM を用いて観測されており、非常に接触角の小さい (概ね  $2 \sim 30^\circ$ ) 扁平な形状が報告されてきた[4]。このためサーフェスバブルはマイクロ (ナノ) パンケーキとも呼ばれている。しかしながら本研究では、Fig.2 に示すようにバブルの大きさに関わらず、ほぼ半球状の形状が観測され、パンケーキ形状は一例も見られなかった。観測された接触角は  $50^\circ \sim 90^\circ$  の範囲にあり、その平均値は  $69^\circ$  であった。大きな接触角は曲率半径を小さくし、バブルの内圧を増大させる[4]。これはバブル中のガス分子の水中への溶出を促進する方向に作用すると考えられるが、本研究では3日の間に消失したバブルは観測されなかった。



**Fig. 1.** マイクロバブル形成過程の SEM 像。加速電圧 5 kV、照射線量率:  $9.6 \times 10^{11} \text{ e}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。照射時間: (a) 0 s、(b) 118 s、(c) 203 s、(d) 370 s、(e) 1067 s。



**Fig. 2.** (a)-(c) 電子透過窓の端に形成された様々なサイズのナノバブル、マイクロバブルの断面 SEM 像。

## 文 献

- 1) J. M. Grogan et al., *Nano Lett.* **14**, 359 (2014).
- 2) Q. Kim et al, *Appl. Nanosci.* **11**, 1 (2021).
- 3) K. Takahara et al., *J. Appl. Phys.* **130**, 025302 (2021)
- 4) D. Lohse et al., *Rev. Mod. Phys.* **87** (2015).

\*E-mail: ssuzuki@lasti.u-hyogo.ac.jp