

数密度に依存した奇異なナノバブル成長過程の観測

Observation of the number-density dependence of nanobubble growth

Wang Xiaolong¹, Chatterjee Souvik¹, 作花哲夫², 中嶋隆¹ (1. 京大エネ研, 2. 京大工)

X. Wang¹, S. Chatterjee¹, T. Sakka², T. Nakajima¹ (1. IAE Kyoto U, 2. Kyoto U.)

E-mail: nakajima@iae.kyoto-u.ac.jp

金属ナノ粒子分散水溶液に表面プラズモン共鳴波長を持つパルスレーザーを照射すると、ナノ粒子が加熱され、その熱によってナノ粒子近傍の水が蒸発し、ナノバブルが生成されることは既によく知られている。しかし、ナノバブルの成長過程を実時間で観測した報告例は数少なく、さらには数密度依存性についての研究報告となると、我々の知る限りでは皆無である。

ナノ粒子の数を 4×10^7 – 4×10^8 /mL の範囲で変えながらナノバブルの成長過程をナノ秒の時間分解能で実時間追跡する実験を行ったところ、この数密度のレンジではナノ粒子間隔は 14 – $30 \mu\text{m}$ とナノバブル径 ($< 1 \mu\text{m}$) に比べてはるかに大きな値であるにもかかわらず、ナノバブルの成長速度が数密度に顕著に依存するという奇異な結果が得られたので報告する。

用いたナノ粒子は粒径 100nm の銀ナノ粒子であり、照射レーザーにはパルス幅 10ns の Q スイッチ YAG レーザーの第 2 高調波 (532nm) を用いた。

発生したナノバブル径の時間変化は、まず、レーザー波長における瞬時消光断面積を実験データから求め、それをミー散乱の理論によってナノバブル径に逆変換することから評価した。ナノバブル径を評価するための、これら一連の過程を図 1 に示す。レーザーパルス照射終了時におけるナノバブル半径とレーザーフルエンスの関係は図 2 にまとめてある。この結果から、低フルエンスの場合 ($\sim 100 \text{mJ/cm}^2$) には、数密度に関係なくナノバブル半径はほぼ同じであるが、高フルエンス (500mJ/cm^2) の場合には、数密度が高いほどバブル径は小さくなる傾向があるということがわかる。数密度が高いといっても高々 4×10^8 /mL で、ナノ粒子間隔に換算すると $14 \mu\text{m} \gg$ ナノバブル径 ($\sim 1 \mu\text{m}$) となることから、バブル同志が直接何らかの相互作用しているとは考えにくい。我々は、この数密度依存性が衝撃波によるものであると考えた。衝撃波の効果を取り込めるように改変した Rayleigh-Plessett 方程式を用いてバブル径の成長ダイナミクスを計算したところ、実験結果とよく一致した。

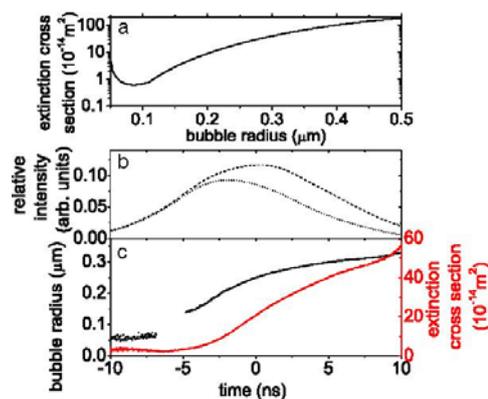


図 1. ナノ粒子半径を評価する手順。セル透過前後の 532nm パルスの時間波形(b)から瞬時消光断面積を求め(c 赤線)、ミー散乱の結果(a)を用いてそれをナノバブル半径に変換する(c 黒線)。

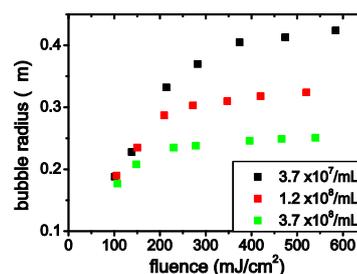


図 2. 3つの数密度におけるナノバブル径のレーザーフルエンス依存性。