

Title	Optical fabrication of single-crystalline microspheres in superfluid helium
Author(s)	岡本, 慎也
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34538
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (岡本 慎也)

論文題名

Optical fabrication of single-crystalline microspheres in superfluid helium
(超流動ヘリウム中における単結晶微小球の作製)

論文内容の要旨

微小球は光を閉じ込める共振器として高い性能を示すなど広範な応用が期待されているが、単結晶では結晶構造に起因した形状に成長しやすいことやファセット構造を有しやすいなどの理由から、単結晶微小球の作製は非常に困難であり、ガラスやポリマー系材料の微小球の作製に留まっている。本論文は、超流動ヘリウム中におけるレーザーアブレーションによる単結晶微小球の作製と、その構造解析および光学特性評価についての研究成果をまとめたものである。対象としてはZnO, CdSe, ZnSe等を取り上げた。

紫外・可視光源として有力なワイドギャップ半導体であるZnOは六方晶ウルツ鉱型構造であり、ファセット構造を持つマイクロワイヤーなどの作製例が多く報告されている。これに対し、本研究では超流動ヘリウム中でのレーザーアブレーションにより、単結晶ZnO微小球の作製に成功した。さらに、その真球度を評価するために、室温で顕微分光を行い、単一ZnO微小球による閾値 $100\text{W}/\text{cm}^2$ の高効率レーザー発振を観測した。この値は、これまでに報告されているZnOマイクロワイヤーによるレーザー発振の閾値より3桁ほど低い値となっている。この結果は、作製したZnO微小球が単結晶であることから高い発光効率を持ち、さらに、その真球度の高さから三次元で効率良く光を閉じ込めることができるという性質によるものである。

また、この手法を用いて、光源としての応用が期待されているCdSeとZnSeにおいても真球度の高い単結晶微小球の作製に成功し、それぞれの単一微小球においてレーザー発振が実現された。さらに、酸化チタンや CeO_2 などにおいても単結晶微小球が作製できることを見だし、結晶構造によらず、多くの材料に適用可能である新規微粒子作製法を確立することができたものと考えられる。

これらの微小球作製のメカニズムは、レーザーアブレーションにより熔融した粒子が表面張力により真球になることに始まる。そして、微粒子が高温から冷却される初期段階ではその表面のまわりで局所的にヘリウムが蒸発しガスとなっており、ため、熔融粒子の冷却速度はさほど速くないと考えられる。従って、結晶化が進むものの、ファセットを形成するに至る時間がない絶妙な条件下で、単結晶微小球が作製されるものと考えられる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (岡本 慎也)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	芦田 昌明
	副 査	教 授	宮坂 博
	副 査	教 授	北岡 良雄

論文審査の結果の要旨

最も高い対称性を有する形状である真球は、充填剤や光を閉じ込める共振器など広範な応用が期待されている。しかしながら、実用に供されているのはガラスやポリマー系材料に留まっており、より高い性能が期待される真球単結晶の作製技術は確立していない。材料の融液は表面張力によって真球形状をとるが、それを維持するため急冷すると、多結晶やアモルファスとなってしまう、逆に徐冷して単結晶として成長すると、表面に結晶構造を反映したファセットが現れてしまう。

岡本慎也氏は、超流動ヘリウムという極低温かつ粘性が低い極限的な状況で高強度レーザーを物質に照射して融液を作ることにより、単結晶性と真球度の高さを併せ持った微小球の作製を可能とした。融液と超流動ヘリウムの間をヘリウムガスが取り囲むため急冷は抑制されるものの、液体ヘリウムからの等方的な圧力も相まって真球状の融液はファセットを示す結晶成長を阻害されることが期待される。本学位論文は、電子顕微鏡による構造解析および光学顕微鏡による光学特性評価の結果をまとめたものである。

サブミクロンサイズまでの微小球に対しては、透過型電子顕微鏡を中心とした形状観察を行い、高い真球度をもつことを、さらに結晶の格子縞や電子線回折パターン測定から、それらが単結晶であることを見出した。一方、ミクロンサイズの微小球においては、光学顕微鏡による観察や分光測定によって、真球度や結晶性の高さを確認した。すなわち、真球度の高い微小球内に光が閉じ込められ光共振器としてはたらく際に観測される特有の（閉じ込め効率の非常に高い）モードを、その発光スペクトル測定で観測し、さらにそのモードによる（ワイヤー構造など）他の形状におけるものとは桁違いに発振閾値の低い（非常に効率の高い）レーザー発振を見出した。しかも、所望のサイズを有する微小球を作製するためのレーザーの条件を明らかとし、さらにこの新奇手法が異方性結晶ZnO, CdSe, ZnSe, TiO₂の他、CeO₂, 酸化鉄など、その結晶構造によらず非常に多くの物質に適用できることも示した。

このように、本学位論文は、これまで困難と考えられた真球単結晶の作製法を確立するものであり、当該分野の今後の発展に大きく寄与することから、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。