

氏名：菅野 公二

所属専攻・職名：工学研究科マイクロエンジニアリング専攻・助教

派遣国：ドイツ

派遣先(研究機関名)：Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nürnberg

受入研究者(職・氏名)：教授・Wolfgang Peukert

派遣期間：2011年10月10日～2012年2月5日(119日間)

派遣先での研究テーマ：ナノ粒子を応用した高感度化学センサに関する研究

(Study on nanoparticle-based highly-sensitive chemical sensor)

【研究実施概要】



本滞在では、派遣者が有する「ナノ粒子配列技術」と滞在先の有する「ナノ粒子合成・分散技術」を融合することでナノ粒子を応用した高感度化学センサ・分析技術を実現することを目的とし、共同研究を行った。「ナノ粒子配列技術」は、シリコン基板上に形成したナノスケールの溝にナノ粒子を気液界面張力によって捕捉・配列する手法である。ナノ粒子を配列することで粒子間相互作用を活用し、センサの特性向上を狙う。研究実施事項は以下の3点である。(1) これまでに共同研究として行った金ナノ粒子配列技術に関する粒子配列確率計算、(2) 金ナノ粒子配列構造の和周波発生 (SFG : Sum Frequency

Generation) 分光への応用、(3) 金属酸化物半導体ナノロッドの高配向配列実験。

(1) 金ナノ粒子配列技術に関する粒子配列確率計算

これまでに共同研究として行った金ナノ粒子配列に関する実験結果について議論・考察を行った。これまでに金ナノ粒子が基板上の溝に近接して配列するために粒子間ポテンシャルエネルギーを低減する必要があることを明らかにしている。この実験結果を説明するために、粒子動力学に基づいた適切なモデルを検討し、解析することで、実験結果との比較を行った。

(2) 金ナノ粒子配列構造の和周波発生分光への応用

これまでに構築した技術を用いてナノ粒子配列を最適に制御し高感度な粒子表面分析を実現するため、ナノ粒子配列を滞在先が有する SFG 分光技術に応用することを試みた。滞在中はナノ粒子配列を滞在先で作製する実験を実施した。

(3) 金属酸化物半導体ナノロッドの高配向配列実験

ガスセンシング応用を見据え、渡航者の有する配列技術を応用し酸化亜鉛 (ZnO) ナノロッドの配向を揃えた薄膜構造作製を行った。ナノロッド高配向膜の実現により、粒子間接触面積を増大させ、従来の問題点であった粒子間の高い抵抗を低減ことを目的とした。

【研究成果概要】

今回の海外派遣中に得られた成果について以下に示す。

(1) 金ナノ粒子配列技術に関する粒子配列確率計算

近接して溝にトラップされる粒子数を、粒子径や添加電解質、粒子間隔をパラメータとして、凝集速度と DLVO 理論を基にした安定率から計算した。さらに、粒子径分布を考慮したモデルとした。この計算結果は実験結果

(粒子配列収率)と良く一致し、本研究で提案したモデルによって、高い収率を得るために必要な配列諸条件を予測することが可能となった。

(2) 金ナノ粒子配列構造の和周波発生分光への応用

本研究のために、まず金ナノ粒子配列実験を行った。配列するために必要な基板やナノ粒子分散溶液は日本での実験と同じ材料を使用した。様々な条件(粒子濃度、基板洗浄方法、溝寸法、温度・湿度など)で実験を行ったが、配列の収率は非常に低く、SFG分光に使用可能なナノ粒子配列構造を作製することができなかった。使用する純水の不純物や実験室の環境などが原因となる可能性があるが、帰国までにその原因を明らかにすることができなかった。

(3) 金属酸化物半導体ナノロッドの高配向配列実験

初めに、金属酸化物半導体ナノ粒子として酸化亜鉛(ZnO)ナノロッドを合成した。合成したナノロッドは寸法が直径20nm、長さ90nmであった。シリコン基板を使い実験を行った結果、ナノロッドが基板上へ溝有り無しに関わらずランダムな方向に付着していた。ナノ粒子のゼータ電位を測定した結果、粒子は表面が正に帯電していることが解り、負に帯電しているシリコン基板上に付着しやすいことが明らかになった。そのため、(1)ナノ粒子の表面を負に帯電させる、(2)シリコン基板を正に帯電させる、ことを試みた。まず、(1)のためにナノ粒子分散溶液のpHを変えてゼータ電位を測定した。pHが高くなると負に帯電したが、分散安定性が非常に低く粒子凝集体が生成した。そのため、(2)において、シリコン基板を終端にアミノ基を有する自己組織化単分子膜で修飾することで正に帯電させた。この基板を用いてナノロッド配列実験を行った結果、ナノロッドが溝の壁面に沿って配向した構造を得ることに成功した。溝以外の部分にもナノロッドの付着が観察されたが、この場合ナノロッドの方向は不揃いであり、溝の壁面がナノロッドの方向を決定するために効果的であることがわかった。

化学工学の粒子合成や分散技術分野との共同研究により、その分野の知識と技術を習得することができ、また、互いの技術を融合することで、ナノ粒子配列における新たな知見を得ることができた。

【外国語のスキルアップ・コミュニケーション能力の向上、海外におけるネットワークづくり】

滞在中は Erlangen-Nürnberg 大学の様々な研究室を訪問し、研究に関する議論を行った。また、滞在した Erlangen には大学とともに、フラウンホーファー研究所やマックス・プランク研究所の大きな拠点があり、それらに所属する研究者と触れ合う機会を得た。特にナノ材料やナノ構造に関するナノサイエンス・ナノテクノロジー分野のネットワークを構築することができた。その中で、渡航者の成果に興味を持つ研究者と、ナノ粒子構造の応用や光学的特性評価に向けて共同研究の議論を持ち、今後連絡を続けて共同研究への議論を続けたい。



滞在研究室には教員4名、博士研究員8名、博士課程学生20数名が在籍しており、大きな研究室である。これらのメンバ、特に博士研究員や博士課程学生とは、昼食時や実験時に多く話す機会を設けることで、研究に関するだけでなく、研究への考え方や大学のシステムなど多くの議論を持つことができた。これらの同年代の若い世代との接点を多く作ることは、今後の大きな財産になると期待している。

共同研究を行うに当たり、いくつかの問題があった。研究を進める際にその方向性の意見で衝突することや、4ヶ月の限定された期間を勘案した研究計画、またその期間での実験機器使用・実験室使用時間の制限が挙げられる。また、文化の違いにより、互いに勘違いすることで悪い印象を与えてしまうことも多々あった。滞在先には英語の苦手なメンバーもあり、正確に自分の意見を伝えることに注意することが重要であると実感した。

【派遣の感想】

今回のような長期の滞在は、お互いの技術を融合させる共同研究を進めるに当たり非常に有意義な機会となった。これまでに今回の滞在先とは共同研究を行ってきたが、1週間程度の滞在とEメール・インターネット電話での交流であった。そのため、お互いの技術をお互いが習得するために十分な時間はなく、実験に支障をきたすことがあった。また、議論が十分にできていなかったと感じていた。今回の4ヶ月の滞在において、技術習得および議論を十分に行うことができ、また海外研究機関との共同研究を自身を中心となって進めていく経験ができたことで、今後の共同研究を円滑に進めていけると考えている。今後、この共同研究をさらに推進し、業績を上げるとともに、共同での研究資金獲得を目指したい。

このように自身を中心となり海外との共同研究を推進するために必要な今回の派遣プログラムは若手教員にとって非常に有意義な機会であると感じている。この派遣プログラムをステップにより大きな研究教育の機会を得ることができると期待している。