

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本-ドイツ研究交流）

1. 研究課題名：「原子スケールで制御された金属ナノ接合における電子伝導の光制御」
2. 研究期間：平成21年 8月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 18,871,500円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	三澤 弘明	北海道大学 電子科学研究所	教授
研究者	上野 貢生	北海道大学 電子科学研究所	准教授
研究者	村澤 尚樹	北海道大学 電子科学研究所	助教
研究者	西島 喜明	横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科	助教
研究者	横田 幸恵	理化学研究所 理研-北大 電子研連携研究チーム	特別研究員
研究者	Geldhauser, T.	北海道大学 電子科学研究所	博士研究員
参加研究者 のべ			9名

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Scheer, E.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Prof.
研究者	Leiderer, P.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Prof.
研究者	Boneberg, J.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Prof.
研究者	Waitz, R.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Dr.
研究者	Kolloch, A.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Ph. D student
研究者	Benner, D.	Univ. Konstanz, Physics Dep.	Ph. D student
参加研究者 のべ			7名

5. 研究・交流の目的

本研究交流は、プラズモン増強効果が金ナノ接合における電子伝導に及ぼす効果について明らかにすることを目的とする。

具体的には、日本側の世界でも傑出した金属ナノ構造の加工技術と、ドイツ側の金属ナノ接合電極の電気計測技術を組み合わせ、金ナノ接合における電子伝導のプラズモン効果について明らかにする。

本研究交流により日本とドイツが交流を通じて相互的に取り組むことで、光でゲート変調が可能な高速で動作する単一電子トランジスタの開発が期待される。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

Leiderer・Scheer 両グループが作製するナノギャップやナノ接合を有する金属ナノ構造（電極）のプラズモン増強に基づく光電場強度分布について、多光子吸収過程を介した光重合反応により可視化することに成功した。特筆すべき点は、Leiderer グループが提案した解析・実験方法であるレーザー光のビームプロファイル（ガウス分布）を利用することにより入射光強度分布を生じさせ、重合反応の閾値を場所ごとに比較することにより、プラズモン励起に基づく光電場増強効果、いわゆる増強率を定量的に計測することが可能になった点である。本研究は、Leiderer グループと共同で研究を進めることにより初めて見いだされた研究成果であり、相手側の協力による研究への相乗効果が表れた一例である。一方、本研究プロジェクトの重要課題であるプラズモンアシストの電子伝導特性を明らかにするために、三澤グループで電子ビーム露光した基板を実験に用いる方法、および三澤グループで FDTD 解析により最適化した電極設計を Scheer グループにフィードバックする方法を用いた。その結果、Scheer グループによるナノ接合金属電極を用いた電子伝導制御におけるプラズモン効果の実証に繋がった。さらに、Scheer グループが保有するブレイクジャンクション電極を作製する方法論とギャップの制御技術を三澤グループに導入し、三澤グループが保有する単一ナノギャップ金属構造のスペクトル測定システムと融合させることにより、オングストロームの分解能で誘起されるギャップ幅の変化を光学的に検出することが可能であることを明らかにした。これにより、スペクトル測定においてもプラズモンアシストによる電子伝導が存在することが明らかになった。

6-2 人的交流の成果

Leiderer・Scheer 両グループが作製するナノギャップやナノ接合を有する金属ナノ構造（電極）のプラズモン増強に基づく光電場強度分布を解明するためだけの実験では、サンプルを三澤グループに郵送し、時間をかければ三澤グループ内だけのメンバーで達成できる可能性があった。しかし、当初予定していたよりも早い段階に Leiderer グループにおいて博士号を取得したばかりの若手研究者が博士研究員として三澤グループに参加することが可能になった。これにより、光電場強度の空間分布の可視化に関する研究が加速するとともに、Leiderer グループが提案した解析・実験方法を加えることが可能になり、光電場増強の定量測定が早い段階で達成された。また、ギャップ幅をオングストロームの分解能で制御することが、スペクトル測定によるプラズモンアシストの電子伝導特性を明らかにする上で重要であることが研究ディスカッションで示唆され、本分野に詳しい Scheer グループの博士課程の学生が三澤グループに短期滞在し、ブレイクジャンクションに関する技術の伝達を行った。これにより、オングストロームのギャップ幅変化をスペクトル測定により高感度に計測できることが可能になった。これは、Scheer グループが保有するブレイクジャンクションによるギャップ制御と三澤グループが保有する高精度スペクトル計測技術が融合することで初めて構築されたシステムであり、人的交流を進めることにより初めて実現された研究成果の一つである。さらに、2013 年 1 月に研究代表者の三澤と研究者の上野がコンスタンツ大に訪問した際のディスカッションにおいて、時間分解光電子顕微鏡を用いたプラズモンアシスト電子伝導の実時間計測に関する新しい研究テーマの創案と 3 月における Scheer グループの博士研究員が来札した際における高精度なスペクトル計測方法の確立から、研究プロジェクトが終了した後も研究交流が継続する運びとなった。

7. 主な論文発表・特許等（5 件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	S. Juodkazis, Y. Nishi, H. Misawa, V. Mizeikis, O. Schecker, R. Waitz, P. Leiderer, E. Scheer, "Optical Transmission and Laser Structuring of Silicon Membranes", <i>Opt. Express.</i> , 17 , 17, 15308-15317 (2009).	相手側との共著論文
論文	Tobias Geldhauser, Shintarou Ikegaya, Andreas Kolloch, Naoki Murazawa, Kosei	相手側

	Ueno, Johannes Boneberg, Paul Leiderer, Elke Scheer, Hiroaki Misawa, "Visualization of optical near-field enhancements of gold triangles by nonlinear photopolymerization", <i>Plasmonics</i> , 6 , 2, 207-212 (2011).	との共著論文
論文	A. Kolloch, T. Geldhauser, K. Ueno, H. Misawa, J. Boneberg, A. Plech, P. Leiderer, "Femtosecond and picosecond near-field ablation of gold nanotriangles: Nanostructuring and Nanomelting", <i>Appl. Phys. A</i> , 104 , 3, 793-799 (2011).	相手側との共著論文
論文	T. Geldhauser, A. Kolloch, N. Murazawa, K. Ueno, J. Boneberg, P. Leiderer, E. Scheer, and H. Misawa, "Quantitative Measurement of the Near-Field Enhancement of Nanostructures by Two-Photon Polymerization", <i>Langmuir</i> , 28 , 24, 9041-9046 (2012).	相手側との共著論文