



<研究紹介・自己紹介>

研究項目 A01:計画研究ウ

「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝播制御」

研究分担者 酒井 道(京都大学)

気体プラズマを導入した動的メタマテリアル

研究項目 A01 : 計画研究ウの「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝搬制御」において、研究分担者を務めさせていただいております、酒井道と申します。

私は、京都大学工学部電気系学科に入学した後、大学院修了まで故板谷良平先生と八坂保能先生（現・神戸大学教授）の薫陶を受けました。当時は核融合プラズマの基礎研究をまだ大学の研究室でも盛んに行えた時代であり、そこでプラズマ物理と、高周波・マイクロ波によるプラズマ生成・制御法を学びました。以後、現在に至るまでプラズマと電磁波の関わりに携わっていることを考えると、大変貴重な第一歩であったと痛感します。すなわち、プラズマ物理の独特かつ難解な世界（極めて多くの波動現象があります）と、高周波の扱いに対する第六感に触れることができました。

その後、私は、工学部出身であるからには現場に出たい、という、博士後期課程出身者としては少し特異な(?) 志望を持って、電機メーカーに8年間ほど在籍することになります。この間、薄膜プロセスやスイッチングデバイスとしてのプラズマ技術を担当することとなりますが、ここでも高周波をツールとして扱うことから逃れられませんでした。また、民間メーカーで研究所から生産ラインに至るまで、様々な段階の企業活動に参加できたことは、私の中にある貴重な資産と思っております。

企業での研究開発活動の後、京都大学工学研究科電子工学専攻の橘邦英先生の下で教員生活を始めました。ここで、大気圧プラズマ（図1参照）とマイクロプラズマ（mm以下の微小なプラズマ）という新たな研究課題に対して取り組み、プラズマの持つ誘電性に着目することになります。もちろん、依然として、プラズマの産業応用としては、主に薄膜成長やドライエッチングといった気相中反応や気相・固相界面反応の利用が盛んに行われていますし、また古くからの蛍光灯あるいは最近のプラズマテレビでみられるような発光性の利用も重要な応用分野です。私は、このようなプラズマ応用に加えて、新たにプラズ

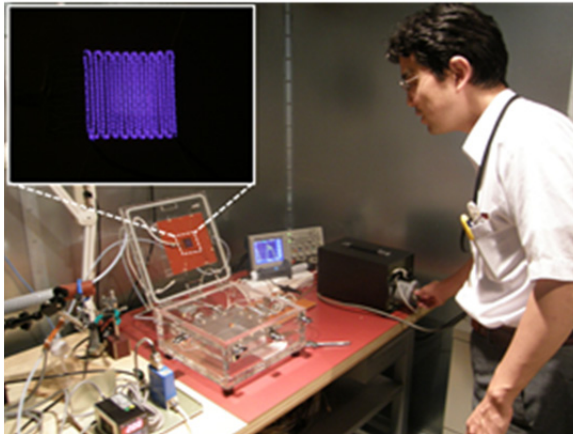


図1. 筆者が独自に開発した手法による大気圧プラズマ発生の様子。“ファブリック”型電極という構造を用いると、比較的簡単に大気中で大気圧プラズマを1次元～3次元形状で得ることができる。協力企業により、表面改質用の生産装置として実用化されている。

マの電気的な特性に着目した研究を進めました。すなわち、荷電粒子を含むことで生じる導電性、より広い意味では誘電性に着目すると、プラズマは他の物質状態とは異なる性質を示します。例えば、プラズマはマイクロ波帯で正から負の値にわたって幅広い比誘電率値を示しますし、時間的な可変性も備えています。また、プラズマ生成電力や放電気体圧力を変えることで、誘電率値を複素平面上で制御することができます。このような性質を、メタマテリアルという概念的かつツールの要素と組み合わせることで、高機能性を発現する素地があると考えました。そして、従来のメタマテリアル構造にプラズマを組み合わせることで生じる特質について、“プラズマ・メタマテリアル”として提案してきたわけですね^[1]。私は、ここでもやはり、電磁波・高周波・マイクロ波と、長い長いお付き合いを続けることになりそうです。

<研究紹介>

プラズマ・メタマテリアルの様々な可能性・応用性を示すために、我々はいくつかの点で、負の屈折率状態の実現の確認や擬似表面プラズモン現象への動的性質の付与、プラズマ・メタマテリアルが示す強い非線形性の理論予測等の研究を行ってきています。ここでは、図2を用いて、擬似表面プラズモンに関する研究内容についてご紹介します。擬似表面プラズモンとは、金属板へ周期的な穴を開けることで、ある特定の周波数では板面内の開口率に関わらずほぼ100%の電磁波が透過するという現象を理解するために提唱された考え方であり、本新学術領域においても、研究計画Iのグループにおいて精力的に研究されています。すなわち、周期的な穴開き構造を持つ板は、周期長より十分長い波長の電磁波に対しては一種の負の誘電率を示す層と言え、特異な巨視的性質を示すという意味でメタマテリアルの範疇にあるとみなせます。我々は、この穴の

中に微小なプラズマを生成することで、ミリ波帯でこの巨視的誘電率を可変に制御することができることを実験・理論の両面で示しました^[2]。

ところで、図2の構造は、別の見方としては、光領域での表面プラズモンと同様の現象の発現を通して、メタマテリアルの概念の下に、巨視的には“プラズマ”とみなせる構造を元々示している、とも言えます。このように、メタマテリアルの概念に後押しされる形で新たな“プラズマ”形態を実現することも、私が目指している研究の流れに沿ったものです。そして、実際のプラズマ生成とともに、効果が入り組んだ形で機能性を発揮することができている好例と言えます。

また、プラズマ・メタマテリアル研究全般の中では、メタマテリアルへの動的性質（可変性）を付加することで生じる機能性が明らかとなってきています。構造（空間）自体に潜む創造性という軸に対して、時間軸への制御性をどのように実現してどのように応用するか、という観点を採用して、研究領域を広げていこうとしております。

以上のように、本研究内容は、1つのストーリーに沿って筋立てられる内容というよりは、多分に多面的な要素を含んでいます。先に述べましたように、プラズマ・メタマテリアル研究は我々が世界に先んじて提案した概念と言えますが、最近では欧米およびアジアにおいて理論および実験研究が多く報告されるようになってきています。我々は、その先頭を切って新たな研究展開を図るべく、学術の進展と産業応用への提案の両面で研究を進めていきます。

[参考文献]

- [1] 酒井道、橘邦英、「マイクロプラズマによる電磁波メタマテリアル」、応用物理、78巻、pp. 437-441 (2009)。
- [2] D.-S. Lee, O. Sakai and K. Tachibana, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009), 062004. 本論文は、第33回（2011年度）応用物理学会優秀論文賞を受賞しました。

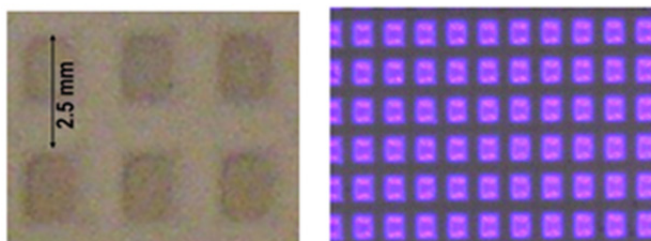


図2. プラズマによる動的なメタマテリアル構造の一例。擬似表面プラズモン構造（拡大図、左）と、穴内部へ微小プラズマを生成したときの様子（右）。