

表面プラズモンの研究：
弾性表面波との相互作用及びバイオセンサへの応用

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 孫, 暁春 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1744

氏名・(本籍) 孫 曉 春 (中国)
学位の種類 工 学 博 士
学位記番号 工博甲第 60 号
学位授与の日付 平成 3 年 3 月 23 日
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科・
専攻の名称 電子科学研究科 電子応用工学専攻
学位論文題目 表面プラズモンの研究
一弾性表面波との相互作用及びバイオセンサへの応用

論文審査委員 (委員長)
教授 本 郷 廣 平 教授 山 口 豪
教授 山 田 祥 二 教授 山 口 十六夫
助教授 小 楠 和 彦 助教授 塩 川 祥 子

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は表面プラズモンの研究と題し、表面プラズモン (SP) と弾性表面波 (SAW) との相互作用の物理現象の解明及び SP を用いたバイオセンサの開発を行ったものである。

SP は金属と誘電体との境界にエネルギーを集中して伝搬する電子の疎密波である。その特性は境界の誘電的、幾何学的特性に強く依存する。本研究では SP の伝搬面上に SAW を伝搬させ、それにより SP にどのような影響を及ぼすか、また SP と SAW との相互作用をセンシングに適用できないかを調べた。

理論及び実験では LiNbO_3 /金属膜/空気の三層構造を基本とした。圧電結晶 LiNbO_3 を透過し、その表面上の金属膜に光を照射することにより金属膜/空気の境界に SP を励起できる。またその表面上にホトリソグラフィ法により形成した楕形電極により SAW を励起させることもできる。SAW の伝搬により境界に正弦波型の動的な格子が生じ、光が回折されるだけでなく、SP 共振のための波数整合条件も変わる。本研究では SAW による光の回折の理論に基づき、SP の共振による光の減衰、及び SP 共振のための波数整合条件への SAW の寄与を考慮して、SP と SAW との相互作用における回折光スペクトルの計算式を導いた。

実験では同一素子により、SAW を設計周波数 85MHz とその三倍の 255MHz で励起した。SP を励振周波数の異なる SAW と相互作用させた時の回折光スペクトルを測定し、その結果を理論計算の結果と比較すると、両者はかなり一致していることが分かった。これにより理論と実験との両方から

SPの共振にSAWの動的な格子作用及びSAW周波数の回折光スペクトルへの影響が明らかになった。

銀、金、銅三種類の金属膜をそれぞれSPの活性層とし、SPとSAWと相互作用をさせた結果、回折光スペクトルは膜の誘電特性だけではなく、SAWの励起周波数にも依存することが分かった。特にSPの半値幅が一次回折光スペクトルに含まれる二つのSP間の間隔とほぼ等しい時、一次回折光の方が零次回折光より膜の特性を顕著に表していることが分かった。これは二つのSP成分の重なりにより双峰形のスペクトルが生じたことによるもので(“重なり効果”), 膜評価に応用できると考えられる。そこでこの“重なり効果”を用い、銀膜の自然な化学変化(酸化、硫化など)による膜の誘電率の変化をスペクトルの変化を通して観察した。これらの結果から、この新しい物理現象を用いれば、いろいろな物質上を伝搬するSPの特性を調べられるだけでなく、金属膜の物理的、化学的評価も可能であることが明らかになった。

以上のような物理的な研究を行うと同時に、SPの一つの応用として、SPを用いたバイオセンサの開発にも取り組んできた。SPバイオセンサは試薬を用いずに表面上での免疫反応による光学特性の変化、たとえば屈折率、表面層の厚さなどを直接検出するものである。

本研究で、まず測定原理に基づいてセンサの感度式を導出し、生体試料や溶媒の値を代入して数値的に感度を求め、SPバイオセンサが原理的に高感度であることを明らかにした。そして実験システムを構成し、 α -Fetoprotein(肝癌患者の血清中ではその濃度が上昇する)免疫反応の検出に応用した。プリズム上に固定化した抗体に抗原を反応させた2時間後の測定で、抗原を数10ng/mlの濃度まで検出することができた。この結果はこれまでの物理的測定法としては最も高感度である。このセンサの感度はセンシング物質の固定量に依存し、その固定量を増やすことによりセンサの感度を高めることができることが実験的に明らかになった。

さらに実用化を目指し、SPバイオセンサを実時間、定量測定へと発展させる研究を行った。測定方法、センサの構成などを改善することにより、反応後、数秒から数分間で抗ヤギIgG(ウィルスの感染により血液中のIgGなどのプログリンの量が増大する)の濃度を実時間測定で数 μ g/mlの濃度まで定量的に測定できた。それに基づいてセンサの検量線が得られた。そしてSPバイオセンサは、抗体を固定化し抗原を検出するのと、抗原を固定化し抗体を検出するのとでは、どちらがセンサとして適しているかについて検討を行った。SP物理現象自身の特徴及び生体分子の特徴をもとにし、原理と実験との両方から抗原を固定し抗体を被検体とするのがセンサとして適していることを明らかにした。またセンサの繰り返し再使用の問題についても実験的な検討を行った。その結果、結合された抗体、抗原をある程度解離できること、処理に用いる薬品、有機膜の効果などについてさらに検討する必要があることが分かった。

これらの研究はSPを免疫センシングに応用することの有効性を示すと同時に、センサの構成法、特性の改善などに役立つ結果を得ることができ、実用化へ向かう道を開いた。