

小川 晋

(株) 日立製作所基礎研究所

プロフィール：日立製作所基礎研究所主任研究員。1963年5月13日福島県いわき市生まれ、宮崎県延岡市育ち。1986年東京大学工学部物理工学科卒、1991年東京大学大学院工学系研究科博士過程終了、同年4月日立製作所基礎研究所入所、現在に至る。1999-2002年科学技術振興事業団さきがけ研究員兼任。趣味：自然の中の散歩(山歩きとまでは言えない)、もうすぐ二歳になる娘と遊ぶこと。

## ナノ構造金属薄膜における光励起ダイナミクス

### 要旨

物質は、ナノメートル ( $10^{-9}$  m) レベルの大きになると、通常バルクの状態とは大きく異なる性質を示します。本研究では、金属基板上に別種類の金属ナノ薄膜を形成した時にできる量子井戸という特異な電子状態に着目し、それがどのような状態なのか、そして光によってその電子を励起した時に、どのような性質を持っているかを調べることを目的としました。光デバイスとして実用化されている半導体の量子井戸と異なり、金属量子井戸中の光遷移に関する情報は、これまで磁気非線形光学効果を利用した間接的なものしかありません。これは、従来の光を検出する手法では、金属量子井戸中の光遷移に関する情報がそれ例外的光遷移の情報の中に埋もれてしまっていたからです。量子井戸という特異な状態にある金属薄膜中の電子を光により励起する時、どの状態にいる電子が励起されやすいかだけでなく、電子はどのような時間スケールで変化をしていくのかということを知ることが、光応答の速さと言う点で重要です。また、この量子井戸状態にある電子は、磁性体間の磁気的な相互作用を媒介しており、その電子の状態を変革することができれば、磁性を制御できる可能性もあります。以上の問題を調べるため、干渉型時間分解二光子光電子分光法という手法を用いました(図1)。

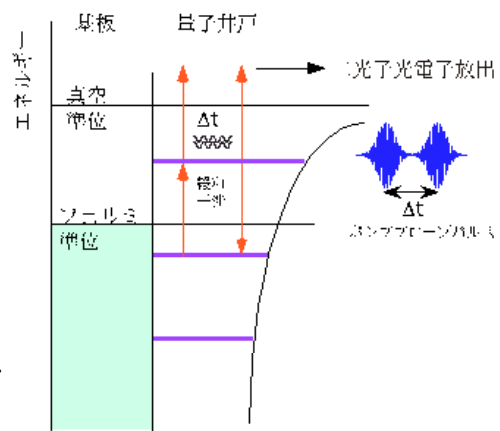


図1 時間分解二光子光電子分光

量子井戸準位にいる電子を、あいている量子井戸準位に光励起し、さらに再度光励起してその電子を試料の外へ光電子として放出させるのが、二光子光電子分光です。これから、量子井戸のエネルギー準位を求めることができます。薄膜中に閉じ込められた電子の様子を記述する位相蓄積モデルを用いると、実験的に求められた量子井戸のエネルギー準位から、界面での電子の位相や、量子井戸中の電子の波動関数を求めることができます(図2)。さらにこれから量子準位間の光励起の遷移強度を求めることができ、これは二光子光電子スペクトルから求められた遷移強度と良く一致していることが確かめられました。これらの結果から、任意の膜厚における量子井戸準位の波導関数やその遷移強度を求めることが可能です。また、量子井戸準位のエネルギーを表面の仕事関数変化により制御できることも示しました。

量子準位にいる電子を光励起したあとに、ある時間差で二回目の光励起をおこさせ光電子を放出させると、あいている量子準位にいる電子の寿命を求めることができます。図3は、量子準位にいる電子の寿命を示していますが、通常の半導体の量子井戸中の電子の光励起寿命の千倍程

度高速なものです。さらにバルクの金属よりも短く、膜厚依存性を示します。これは、量子井戸準位に励起された電子が薄膜界面での反射により緩和されることを示しています。

さきがけ研究により、ナノ薄膜中の電子状態、その制御の可能性、さらには時間分解二光子光電子分光の可能性を示すことができました。今後は、ナノ電子状態のよりアクティブな制御、計測面では、空間分解能、スピン分解能、励起波長領域の拡大により、固体やその表面、ナノ構造におけるスピンドYNAMIX、反応ダイナミクスの研究に発展させていきたいと考えています。

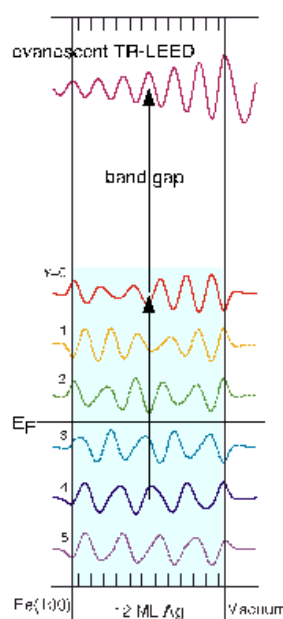


図2 波動関数

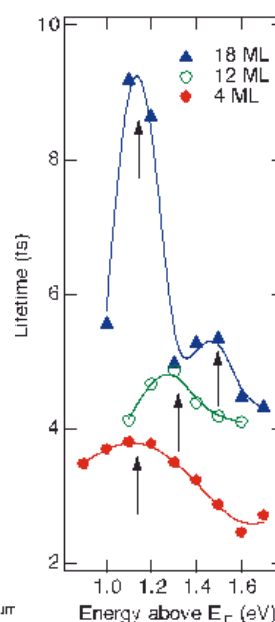


図3 寿命

## 研究成果

1. S. Ogawa, H. Nagano, and H. Petek " Optical Intersubband transitions and femtosecond dynamics in Ag/Fe(100) quantum wells " Phys.Rev.Lett. 88, 116801(2002).
2. S. Ogawa "Femtosecond electron dynamics studied by interferometric time-resolved two-photon photoemission" J. Elec.Spec.Rel.Phén, 124/2-3, 245(2002).
3. H. Petek and S. Ogawa "Surface femtochemistry: Observation and quantum control of frustrated desorption of alkali atoms from noble metals" Ann. Rev. Phys. Chem, 53, 507(2002).
4. 小川 晋 "表面光反応のフェムト秒実時間計測" 日本結晶学会誌、43, 9(2001).
5. S. Ogawa H. Nagano, M. Weida, and H. Petek, "Femtosecond electron dynamics in metallic quantum well" Symposim on spin-electronics 2000 p.134
6. 小川 晋 "光を用いた磁化検出方法および装置", 特願 2001-284405