

内部光電効果法を用いた SrTiO₃ の界面誘電率測定

物質系専攻 086014 川村 元秀

指導教員：Harold Y. Hwang (教授)

キーワード：酸化物界面、ショットキー接合、内部光電効果法

背景 酸化物界面は特異な物性を示すことから、多くの研究者の興味を集めている。例えば、バンド絶縁体同士であるにも関わらず金属的な伝導性を示す LaAlO₃/SrTiO₃ ヘテロ接合[1]、磁場に依存する整流特性を示す La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ /Nb:SrTiO₃ ショットキー接合[2]などがあげられる。高品質の単結晶が得られ、ドーピングにより伝導性を制御できる SrTiO₃ は、最も代表的な酸化物の一つであり、その界面の理解は酸化物の幅広い応用の基礎となる。SrTiO₃ の誘電率は温度や電場に強く依存し、これがバンドベンディングについては物性に大きな影響を及ぼすことが予想される。従って、ペロブスカイトを用いた機能性酸化物を設計するためには、バルクではない界面近傍の SrTiO₃ の誘電率を実験的にプローブすることが欠かせない。本研究では、Au/Nb:SrTiO₃ (Nb = 0.01 wt%) ショットキー接合の障壁高さ(SBH)を内部光電効果(IPE)法[3]を用いて評価し、電圧を印加した際に生じる SBH の変化から界面誘電率を見積った。

SBH が変化する機構としてはいくつかの可能性が考えられるが、その一つに電極金属側への界面電場の浸み出し効果[4]があげられる。これによる SBH の低下は、電場の金属側への侵入長、界面電場の強さと界面誘電率の積で与えられる。侵入長を適当に仮定すれば、電圧印加によって界面電場を変化させたときの SBH を測定することで、界面誘電率をフィッティングにより求めることができる。

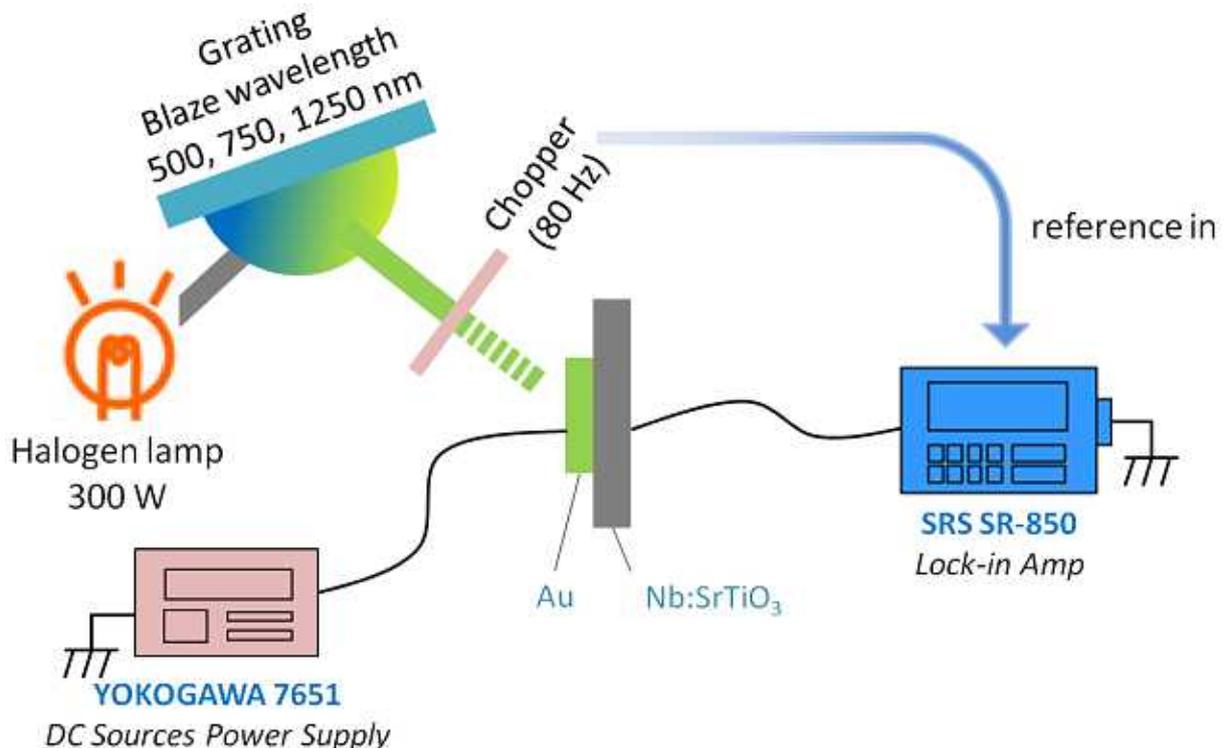


図1 IPE 測定系の模式図。

実験方法 測定系の概観を図1に示した。光源に300 Wのハロゲンランプを用い、出力光を回折格子で単色化し、チョッパーで80 Hzに変調した上で試料に照射した。光電流はロックインアンプを使用して復調した。今回、試料にバイアス電圧を印加するため、新たに直流電圧源(Yokogawa 7651)を導入した。実験装置の動作確認のため、Au/GaAsショットキー接合のSBHのバイアス電圧依存性を測定し文献値と良い一致を得ることに成功した。

Au/Nb:SrTiO₃ ショットキー接合は真空蒸着法を用いて作製した。真空チャンバー内でビスマス蒸着-脱着処理[5]によって基板表面に吸着した炭素などの不純物を除去した後、活性酸素プレアニールを施し、*in situ* で金を蒸着した。図2に示すように、この二つの表面処理の導入により、光電流測定の際の逆バイアス漏れ電流は激減した。

実験結果 実験により得られた300 KにおけるIPEスペクトルを図3に示す。Nb:SrTiO₃ に対し Au に印加した逆バイアス電圧の増大とともに光収率は増加し、光収率の閾値として観測されるSBHは系統的に減少した。光電流の位相が誤差の範囲内でチョッパーの参照信号から変化がないことから、光電流が金属側から半導体側への電子の放出に起因することを確認した。

次に、SBHの変化の界面電場(E)依存性を調べた。図4に示すように、SBHの変化量が界面における電場の強さに比例することから、SBHの減少は主に電極金属側への界面電場の浸み出し効果に由来することがわかった。なお、界面電場の強さは電気容量-電圧(C-V)特性から求めた。

測定は室温から125 Kの範囲で行った。この範囲内ではIPEスペクトルの形状に大きな変化はみられなかった。各温度についてSBHの変化から界面誘電率を導き、これをC-V特性から求めた界面誘電率とバルクの誘電率と比較したものを図5に示す。C-V特性から求めた界面誘電率は、ほぼバルクと同様の値と温度依存性を示した。IPE法より求めた界面誘電率も、定性的には温度の低下に伴って増加する傾向がみられ、定量的にも比較的よく一致した。ここで、電極金属への電場の侵入長を0.3と仮定したが、これは金のトーマス・フェルミの遮蔽長である。

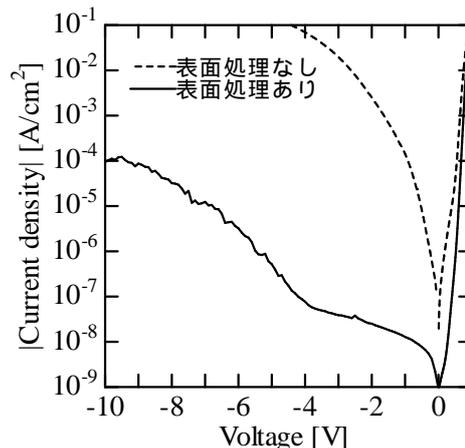


図2 Au/Nb:SrTiO₃ ショットキー接合の電流電圧特性。破線は表面処理なし、実線は表面処理ありを表す。

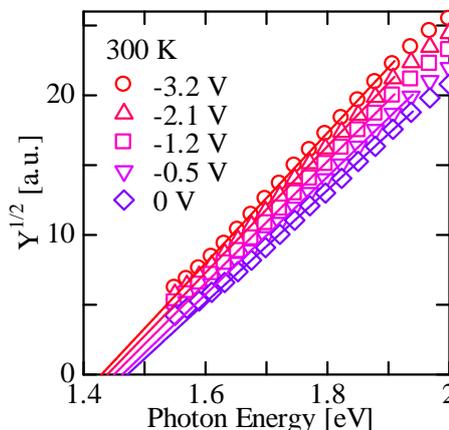


図3 300 KにおけるAu/Nb:SrTiO₃ ショットキー接合のIPEスペクトル。

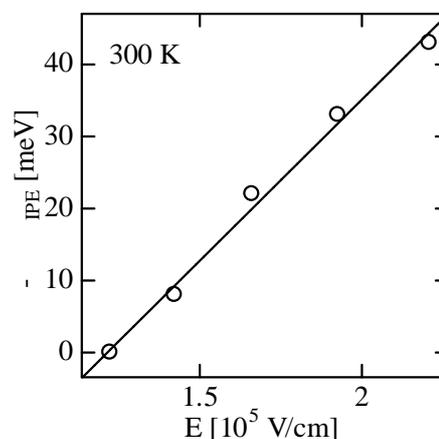


図4 SBHの変化の界面電場依存性。

る 0.59 より少し小さい。この相違はおそらく金の誘電率が 1 でないことによるものと考えられる。

考察 上で考慮した電場の浸み出し効果以外にも SBH 低下の機構が存在する。金属/半導体界面を通過する電子が感じる鏡像ポテンシャルも SBH を変化させ得る。これによる SBH の低下は界面電場(E)の平方根に比例するが、実際図 6 に示すように、SBH の変化の E 依存性をよく説明した。しかしながら、これより求まる誘電率は、図 7 に示すように、300 K を除いた全ての温度で 1 を下回り非物理的である。よって、この系では鏡像ポテンシャルの SBH に対する影響は小さいと考えられる。

まとめ Au/Nb:SrTiO₃ (Nb = 0.01 wt%) ショットキー接合の SBH を IPE 法によって評価した。電圧印加によって生じる SBH の変化は、界面電場の金属側への浸み出し効果に起因することがわかり、それから界面誘電率を導出することに成功した。求められた界面誘電率は、C-V 特性から求めた界面誘電率とバルクの誘電率と同様に、温度の低下に伴い増大した。定量的には、これら三つの誘電率は 2 倍程度の誤差の範囲内で一致した。従って、300 K から 125 K までの温度領域で SrTiO₃ の界面誘電率は、少なくともバルクの誘電率と同じオーダーであることが結論できる。本研究の成果は、LaAlO₃/SrTiO₃ ヘテロ接合をはじめとする酸化物界面におけるバンドベンディングの計算の精緻化に資するものである。

参考文献

- [1] A. Ohtomo and H. Y. Hwang, Nature **427**, 423(2004).
- [2] N. Nakagawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **86**, 082504(2005).
- [3] Y. Hikita *et al.*, Appl. Phys. Lett. **90**, 143507(2007).
- [4] S. S. Perlman, IEEE Trans. Electron Devices **ED-16**, 450(1969).
- [5] S. Watanabe *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **9**, 2394(1991).

学会発表

- 1. 応用物理学会 2010 年春季年会「内部光電効果法を用いた強内部電場下における SrTiO₃ の誘電率測定」.

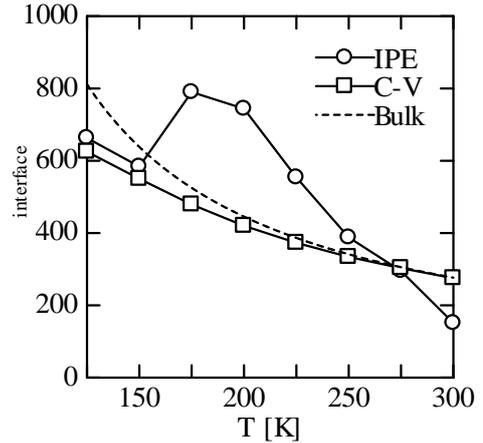


図 5 IPE 法、C-V 特性、バルク(計算)から求めた界面誘電率の温度依存性。

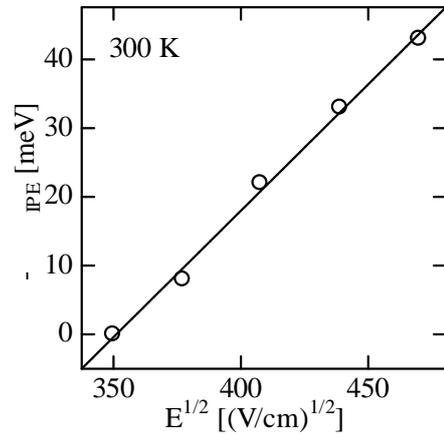


図 6 SBH の変化の界面電場の平方根に対する依存性。

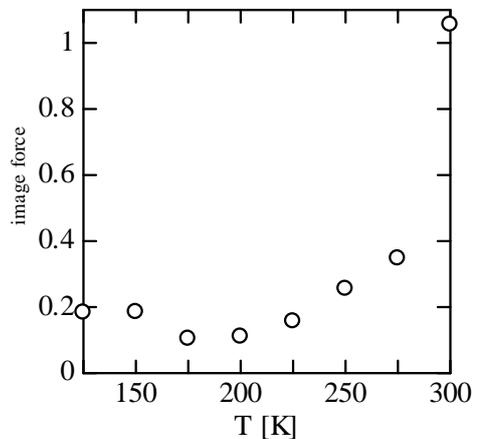


図 7 鏡像ポテンシャルモデルを仮定して求まる誘電率。