

トンネル接合からの THz 発光

THz light emission from tunneling junction

東北大・通研¹, 産総研², 角田 貴也¹, 上原 洋一¹, 片野 諭¹, 桑原 正史²Tohoku Univ.¹, AIST², T. Tsunoda¹, Y. Uehara¹, S. Katano¹, M. Kuwahara²

E-mail: uehara@riec.tohoku.ac.jp

金属薄膜-絶縁体薄膜-金属薄膜の構造を有するトンネル接合からの発光は可視域において今から 30 年程度以前に活発に研究された。この発光は非弾性トンネリングにより励起された接合中の表面プラズモン・ポラリトン (SPP) からの放射である。SPP は伝搬光との間の波数不整合により平滑な表面・界面では非発光性であるが、たとえば「接合界面の自然残留粗さによる SPP の散乱」により不整合が解消され、発光に至る。以前我々は、接合内の界面粗さによる SPP の多重散乱を考慮する理論¹⁾を開発し、可視域でその効果を研究した。その結果、2 次以上の散乱過程は発光特性にほとんど影響を与えないことがわかった。最近、同様の計算を THz 領域で行った。可視域とは異なり、この領域では多重散乱効果、例えば多重散乱による発光効率の著しい向上、が見いだされた。SPP の寿命時間が可視域に比べ THz 領域では非常に大きくなることから、この予測はリーズナブルであると考え、対応する実験を行ったので報告する。

試料は蒸着もしくはスパッターで作製した Al-Ox-Au の構造のトンネル接合である。可視領域での電子トンネル発光を確認したのちに、THz 発光計測を行った。検出器は「光子エネルギー 80 meV にカットオフを有する低光子エネルギー側透過フィルタ」を入射口に配置した 4.2K で動作するボロメーターである。トンネル接合には矩形波 (各矩形電圧パルスの時間巾は 2ms で繰り返し周波数は 250 Hz) を印加し、矩形波に同期したボロメーター出力をロックインアンプで計測した。実験の結果、矩形波の印加に伴いボロメーター信号が増加することを見いだした。

矩形波の印加によりトンネル接合自体も (矩形波に同期して) 加熱されることから、観測された信号増加は熱放射によることも考えられる。この可能性を排除するために、簡単な熱伝導モデルを設定し、矩形波印加に伴う接合温度の時間変化を評価した。その結果によれば、接合の温度は (現在は決定出来ていないパラメーターである) 熱流失の時定数に比例するが、その上に重畳する「矩形波と同期した温度変化成分」の振幅はこれに依存せず、接合への投入電力に比例することがわかった (以下、比例関係と呼ぶ)。従って、抵抗値が異なる接合間での信号を比較すれば、熱放射に起因する信号か否かが判断できる。すなわち、もし熱放射由来の THz 光のみが信号に関与しているのであれば比例関係が成り立つはずである。電子トンネル励起発光機構が機能しない「可視域での電子トンネル発光が極めて微弱」で、しかも接合抵抗が数 10Ω の「矩形波による接合への電力投入量が上述の実験に比較して著しく大きくなる」接合を試作した。この接合からの信号は接合表面の温度変化に起因する熱放射光による可能性が高い。この接合のボロメーター出力を基準にして比較・検討を行った結果、比例関係は成立しないことがわかった。従って、THz 領域の電子トンネル励起発光の観測に成功したと結論した。詳細は当日報告する。

1) J. Watanabe, Y. Uehara, and S. Ushioda, Phys. Rev. B **52**, 2860–2867 (1995).