

強誘電体電子銃

—強誘電体から真空中への電界電子放射—



研究ノート

奥山雅則*

Electron Gun Using Ferroelectrics — Electric—Field—Induced Electron Emission from Ferroelectric to Vacuum —

Key Words : Ferroelectrics, Electron Emission, Vacuum Electronics,
Polarization Reversal, Electron Gun

1. はじめに

真空中への電子放出を生じさせるものとしては、熱陰極、CsやLaB₆等の低仕事関数材料電力、非常に小さい曲率半径の微細チップ、MOS構造等が知られている。絶縁体は電気を非常に通し難いものであるから、電子銃用電子放出材料としては考え難い。しかし、この電子放出現象が強誘電体において起きるのである。強誘導体では物質自身内に平行または反平行に並んだ永久双極子によって生ずる自発分極が存在し、これを外部電場によって反転することができる。電場による分極反転を電荷で観測すれば分極の履歴現象がみられ、また、応力を印加したとき大きい圧電効果、温度を変えると大きい焦電効果がみられる。もし、これらの分極反転に対し分極を補償する自由電荷が金属電極によって与えられないとき、表面にある電荷は大きな電界変化によって外部の真空や他の物質中へと飛び出ることになる。こういった強誘電体からの真空中への電子放出現象はこれまで、主としてチタン酸バリウムやニオブ酸リチウムなどの単結晶で、温度上昇による分極変化による

表面からの電子放出として研究されてきた¹⁾。

しかし、その放出電荷による電流密度は、温度変化が緩やかであることから 10^{-9} A/cm²と非常に小さく、物理的に非常に興味深い現象であるに留まり、デバイスへの応用は期待できなかった。ところが、近年PZTやPLZTセラミックに高電界を印加することにより、大量の電子放出が確認され、1A/cm²オーダーの電流密度が得られて以来^{2,3)}、この現象のデバイス応用の期待が高まっている⁴⁾。これまでの報告例では印加電圧は数kVという高電圧であるが、もし試料を薄くすることができれば低電圧での高電流密度、短パルス幅の電子エミッタが実現できる。これを数十 μ mの厚さに研磨したPZTセラミックを用いて低電圧パルスによって電子放出を確認し、得られた結果について述べる^{5,6)}。

2. 誘電分極の反転による電子放射の原理

図1に示すようにPZTセラミック板の両面に電極を設ける。一つは縞状電極で、もう一方は平面電極で片側全面を覆う。予め何等かの方法で上向きに分極させておくと、その状態でセラミック上面の電極のついていない部分には分極を打ち消すように電子や負イオンが終端される。ここで、立ち上がり時間の短いパルスを印加することにより、縞状の電極下の分極を急激に反転させると、その側の領域も反転しセラミック上端の表面に負の分極が現れ、非常に大きい電界が生じる。これによりそれまで表面に付着

*Masanori OKUYAMA

1946年3月4日生

1973年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了

現在、大阪大学基礎工学部電気工学科、教授・工学博士、固体電子工学

TEL 06-844-1151(内線4602)



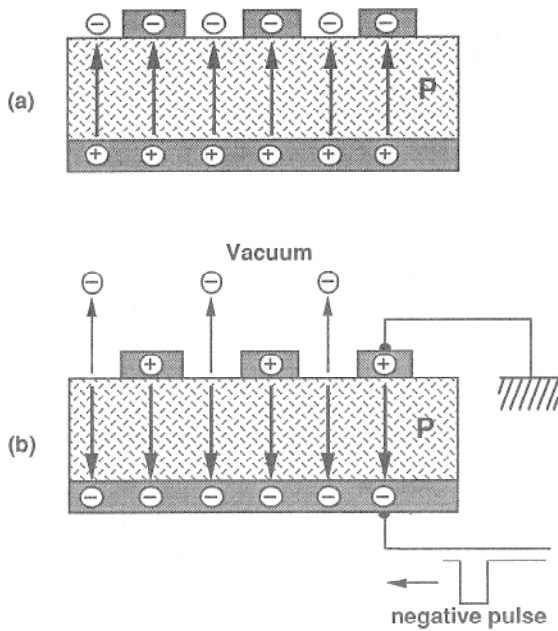


図1 電子放出の原理

していた負の荷電粒子はエネルギーを得て真空中へと放出される。例えば、強誘電体セラミクスで比較的得られ易い $20 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ の分極変化があったとき、電界の変化は約 $230\text{MV}/\text{cm}$ と非常に強大なものになり、電子放出は容易に起こることになる。

3. 真空中への放射電荷の測定

図2の様にセラミック薄板の上には短冊状

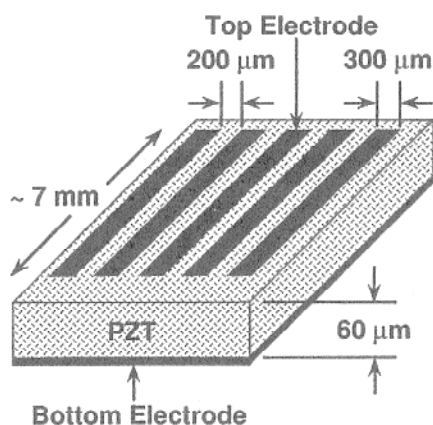


図2 PZTセラミック試料の構造

に、下面に一樣にアルミ電極を蒸着する。一部の試料は最高 300°C 程度まで加熱して数十Vで分極処理を施した。この試料を図3に示す真空

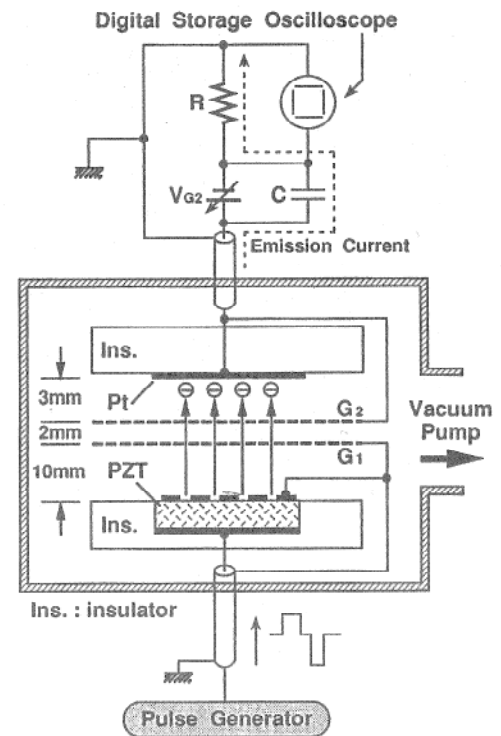


図3 実験装置

装置に入れ、上部電極を接地、下部電極に入力パルスを印加する。印加パルスは、正電圧および負電圧は一組としたダブルパルスである。正パルスは、負パルス印加前に試料の分極を上向きに揃えておき、分極反転を効果的に行なうためである。主として電子やイオンからなると考えられる放出粒子は、上方に置かれた白金電極に到達する。この荷電粒子流による電流を負荷抵抗により電圧信号としてデジタルストレージオシロスコープで観測する。試料とPt電極の間には、電磁ノイズを遮蔽するためにメッシュ状のグリッド G_1 を設置し、試料上部電極と同電位にしている。放出電子の一部はこのグリッドに吸収され、メッシュ隙間を通過したものが白金電極で検出される。さらにメッシュ状のグリッド G_2 を G_1 とPt電極の間に挿入し、 G_2 とPt電極に同時に引き出し電圧を印加した。観測は主に真空中で行なうがガス圧依存性は窒素ガスを導入して測定した。

4. 測定結果

図4は、引き出し電圧を印加しない時 ($V_{G2} = 0\text{V}$) に観測された信号の一例である。入力負パルスの立ち上がり時に、放出電子による鋭い

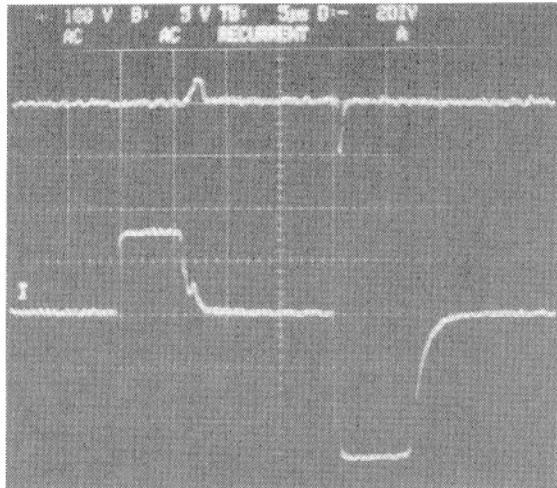


図4 出力電流波形の例 (5mA/div, 上) と入力パルス (100V/div, 下). 水平軸: 5 μs/div. $V_{G2}=0V$.

信号 (5mA) が見えている。また、正パルス印加時にもなだらかな逆の信号が現われている。これは、極性、波形から考えて正イオンによるものと思われる。引き出し電極を設置せずに、放出電荷量の入力パルス電圧、電極長および雰囲気真空圧に対する依存性を調べた。図5は、

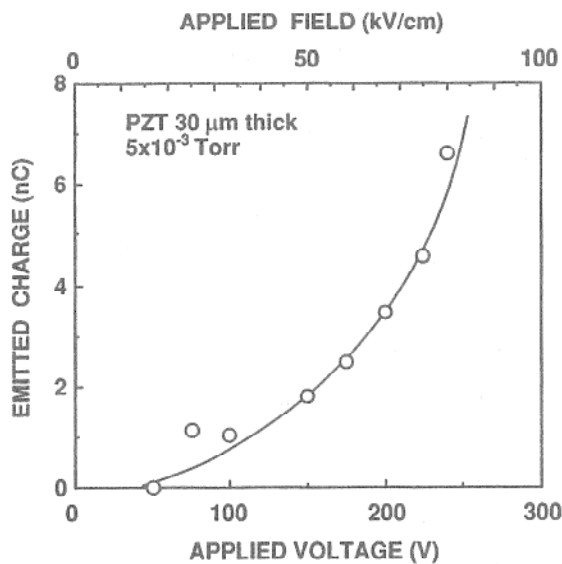


図5 放出電荷の印加電圧依存性

観測された電荷量の入力パルス電圧依存性である。図5の横軸をこの実効電界のスケールにとるとこのPZTセラミックのD-E曲線に合わせることも可能である。図6は上部接地側の短冊状電極の長さ依存性である。電極幅は300

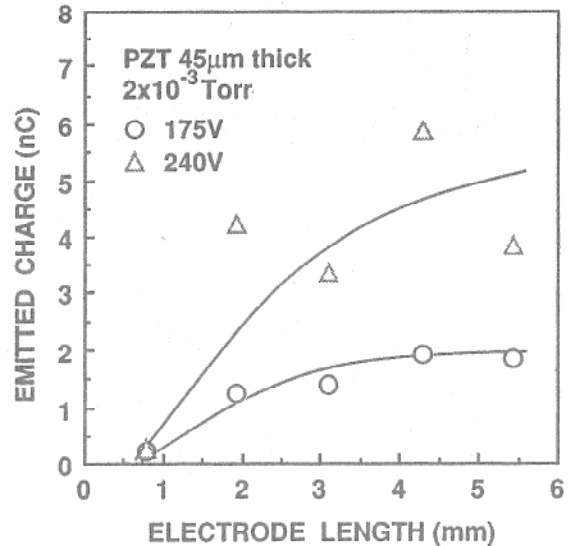


図6 放出電荷の電極長依存性

μmである。単純に電極周囲のある一定幅の帯状の部分からその部分の分極変化により電子が放出されるものと考えると、放出電荷量は電極長さに比例するはずであるが、実際には長さの増大ともなると飽和する傾向がある。図7は圧力依存性である。出力信号は0.1Torr以下の圧力で観測され、高真空では圧力に依存しない。低真空では散乱のために白金電極で検出される電子の数は制限されるが、ある程度以上の高真空になるとほとんどの電子が散乱を受けずに白金電極に到達するために、検出電子量は飽和すると考えられる。10mTorr付近に僅かに

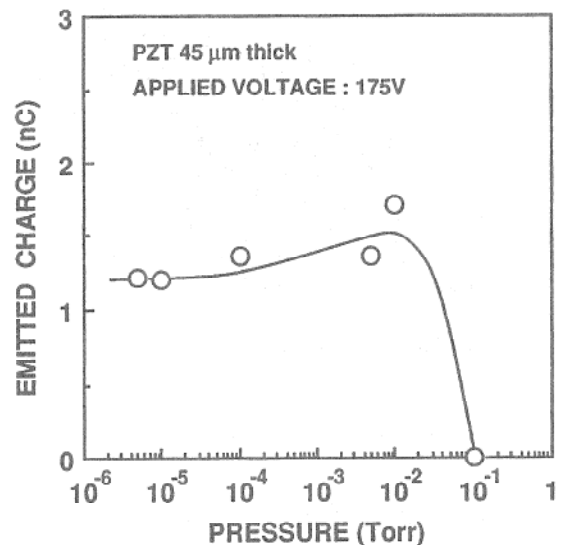


図7 放出電荷の真空圧力依存性

みられる極大については雰囲気ガスの電離あるいはそれによって電子放出後のセラミック表面に有効に荷電粒子が供給されることの効果が考えられる。

次に、引き出し電極を設置し、引き出し電圧として+90Vを印加した時 ($V_{G2}=+90V$) に観測された信号の一例を図8に示す。+90Vの印

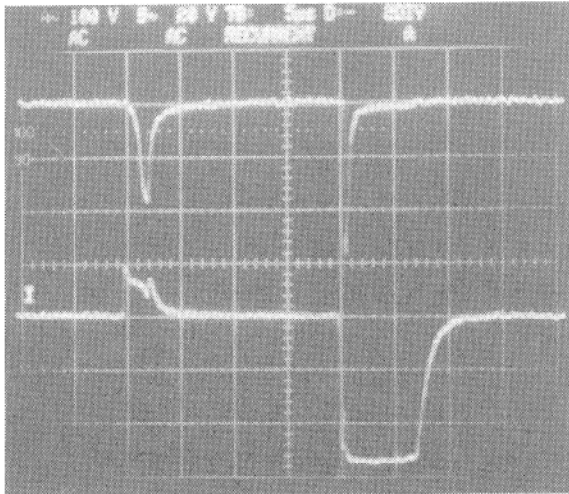


図8 $V_{G2}=90V$ の時の印加パルス (100V/div, 上) と出力電流波形 (20mA/div, 下).
水平軸: $5\mu s/div$.

加によって負パルス印加時の電子電流は60mAと、図4に比べて12倍に増加している。さらに、正パルス印加時にも先とは逆に、負電荷を示す信号が見えている。しかも、その信号波形の立ち上がりは、負パルス印加時のものと比べるとゆるやかである。従って、これは放出され

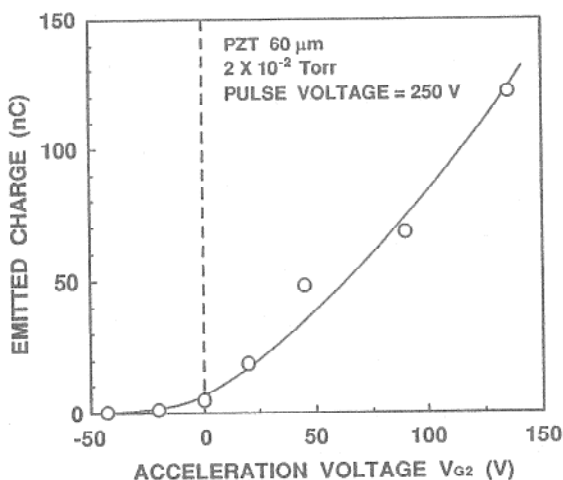


図9 引き出し電圧 V_{G2} に対する放出電荷量の変化

た正イオンによる2次電子がPt電極に到達しているものと思われる。なお、引き出し電圧として-90Vを印加した時 ($V_{G2}=-90V$) には、正パルス印加時の正イオンの増大が観られたが、負パルス印加時の放出電子は全く観測されなかった。図9に、引き出し電圧 V_{G2} に対する放出電子量 (負パルス印加時) の変化を示す。引き出し電圧として+135Vを印加した時には、0Vの時に比べて放出電子量はおよそ30倍に増加していることが分かる。

5. まとめ

強誘電体PZTセラミックに電圧を印加し分極反転をさせることにより真空中への電子放出が観測された。入力パルス電圧の増加、セラミック上部電極長の伸張により放出電子の量が増大した。引き出し電圧を印加することにより放出電流量が増減することを確認した。引き出し電圧として+135Vを印加すると、放出電流がおよそ30倍に増加した。これらの現象は真空マイクロエレクトロニクスにおける種々の電子デバイス、例えば電子銃、表示デバイス、微小真空管等への応用が期待される。さらに、これらの素子が発展しFEED (Ferroelectric Electron Emission Device) として広く実用化されることを切望する。

参考文献

- 1) B. Rosenblum, P. Braunlich and I. P. Carrico: Appl. Phys. Lett. 25 (1974) 17.
- 2) H. Gundel, H. Riege, E. J. N. Wilson, J. Handerek, K. Zioutas: Ferroelectrics 100 (1989) 1.
- 3) H. Gundel, J. Handerek and H. Riege: J. Appl. Phys. 69 (1991) 975.
- 4) H. Gundel, H. Riege, J. Handerek, K. Zioutas: Appl. Phys. Lett. 54 (1989) 2071.
- 5) J. Asano, T. Imai, M. Okuyama and Y. Hamakawa: Jpn. J. Appl. Phys. 31 (1992) 3098.
- 6) J. Asano, M. Okuyama and Y. Hamakawa: Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1992) 396.