X 線検出器:シンチレーションカウンタ
光電効果で発生した光電子ができ蛍光を発生する。これを光電面に導き電子に変換し，更に増幅する。高速測定可能

マイクロチャネルプレート:MCP
直径 10 μm のたくさんの孔
内面に電子増倍物質塗布
両端に電圧印加

荷電粒子ビーム計測
ファラデーカップ(Faraday cup)

$$V = RI + L\frac{dI}{dt}$$

L は測定系のインダクタンス，nsec の計測可能
入射部のくぼみは，放射2次電子を再捕捉するためカーボンは2次電子放出係数が小さいので使用される

第 5 章 気体・液体・固体のパルス絶縁

5.1 気体のパルス放電現象

(a) 直流の絶縁破壊:パッシェンの法則
・α 作用:電子増殖 $n_e = n_0 \mathrm{e}^{\alpha x}$
平均自由行程内に電界から得るエネルギー
・γ 作用:二次電子放出(0.01～0.1 程度)
自己持続放電条件: $\gamma_i(\mathrm{e}^{\alpha d} - 1) = 1$

放電開始電圧(火花電圧)は

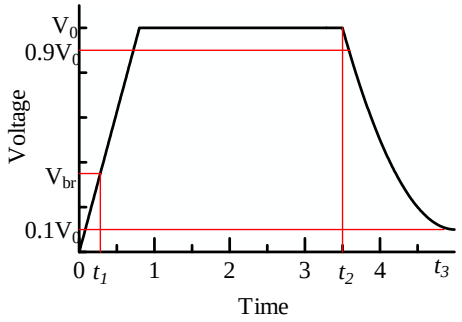
$$V_s = \frac{B\,pd}{\ln\dfrac{Apd}{\ln(1+1/\gamma_i)}}$$

A, B はガス種毎の定数

＊放電形成時間以下のパルス印加では不成立

パルス電圧に対しては *V-t* 特性がある

(b) パルス電圧による絶縁破壊
・放電遅れ時間: $\tau_d = t_2 - t_1$ (右図)
電圧を加えてから絶縁破壊までの時間
・導通時間: $\tau_c = t_3 - t_2$
過渡グローからアークへ移行
放電遅れ時間はさらに，$\tau_d = \tau_s + \tau_f$
・統計遅れ時間: τ_s 初期電子出現までの時間
・形成遅れ時間: τ_f 電子雪崩の成長，電離
・直流破壊電圧: $\tau_d = V_{br}$
・過電圧率: $K = \dfrac{V_0 - V_{br}}{V_{br}}$
K 大ほど形成遅れ時間小



初期電子発生機構
光電子放出(金属表面，仕事関数)
正イオン・準安定原子の衝突による電子放出
熱電子放出， 電界放出

初期電子発生機構
熱電子放出:リチャードソン・ダッシュマンの式

$$j_T = \frac{4\pi m_e e k^2 T^2}{h^3}\mathrm{e}^{-\frac{e\phi}{kT}} \propto AT^2\mathrm{e}^{-\frac{e\phi}{kT}}$$

融点の低い金属は温度上昇とともに金属の融解が始まる。熱電子放出は高融点金属で見られる:W など。あるいは金属酸化物。
電界放出:ファウラー・ノルドハイムの式

$$j_T = \frac{e^3E^2}{8\pi he\phi}\exp\left(-\frac{8\pi(2m_e)^{1/2}}{3heE}(e\phi)^{3/2}\right)$$

微小突起部，真空での破壊
負イオンからの電子離脱
(O_2^-, O_2 の電子親和力は 0.45 eV)

タウンゼント放電:空間電荷の影響無し

低気圧，短ギャップ，低過電圧率の条件:
大気圧窒素，1cm，K＝10%，では～10^6 個

電子雪崩: $e^{\alpha d} < N_{cr}$（電荷の臨界値）～10^8 個
電子雪崩頭部の荷電粒子による電界強度
$E_1 = \dfrac{eN}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$:この値は外部電界の 10%程度

ストリーマ放電:空間電荷の影響有り

・電子雪崩は陽極に向かって進展 $n_e = n_0 e^{(\alpha-\eta)x}$
α :電離係数，η 付着係数

・電子雪崩の広がり半径 $r_a = \left(\dfrac{6D_e x}{v_e}\right)^{1/2}$
D_e :電子の熱運動による拡散係数
v_e :電子のドリフト速度，$v_e = \mu E$
気圧が高いほど D_e 小，よって r_a 小となり，局所的電界強度が大きくなる。

・電子とイオンのドリフト速度の差から，電子と正イオンが分離。外部からの平均電界 $E_g = V/d$ 以上の強電界が発生。この結果，電子雪崩が新たに成長し，導電性のプラズマチャネル（正イオンと電子）:ストリーマが形成される。

・光電離で生じた電子も強電界で電子雪崩を生成（2 次雪崩）

・ストリーマ形成条件: $E_s = \chi E_g$，χ :0.1～1 で，
ストリーマの進展速度＞電子の移動速度