

第8回 大阪ニュークリアサイエンス協会賞 受賞者決定

平成5年度の大阪ニュークリアサイエンス協会賞を選考する選考委員会（委員長濱口俊一会長）は、去る4月19日11名の委員の出席のもと、応募4件の最終選考が行なわれ、その結果次の2件が受賞候補として内定、5月26日の通常総会に先立って開かれた理事会で正式決定、総会終了後授与式と受賞者による発表講演会が行なわれた。

今回の受賞者は右の2件であり、以下にその業績内容の概要を紹介する。

《基礎研究部門》

京都大学 原子炉実験所 高見 清氏
『アバランシェトランジスタを用いた
超高速パルサーの開発』

《応用研究開発部門》

三菱電機(株) 中央研究所 山田 忠利氏
奥田 荘一郎氏
中村 史朗氏
『超電導小型SRリングの開発』

アバランシェ・トランジスタを用いた 超高速パルサーの開発

京都大学 原子炉実験所 高見 清氏

1. はじめに

シンクロトン放射光や電子ライナックの単バンチ運転等では、加速電子を入射する電子銃にごく短い時間中（～1 nS）の電子ビームが要求される。しかし、電子銃を駆動するパルサーの立上がりや立下がり時間が遅く、振幅が小さくなり、十分な電子数（電荷量）を発生できなかった。このためにパルサーの高速化が期待されていた。

このパルサーにアバランシェ・トランジスタが使われているが、開発当初（約5年前）、国内の加速器担当者間で、その立上り時間は1 nS弱が限界とされていた。その限界を求めて高速化に取り組み、最近、振幅～900V、立上がり時間～110pS、パルス巾1 nSパルスを実現した。アバランシェ・トランジスタと超高速パルサー回路を紹介する。

2. アバランシェ・トランジスタ

トランジスタのベースをエミッタに接続し、コ

レクターエミッタ間電圧を絶対最大定格電圧 V_{CBO} を越えて高く（ V_{CBO} の1.5～2.5倍）すると、漏れ電流が急増してベースコレクタ接続で1次（雪崩）降伏が生じる。更にコレクタ電流を増加させると、突然、コレクターエミッタ間電圧は、1次降伏電圧の約 $\frac{1}{3}$ に低下する。これを2次降伏（現象）と呼ぶ。この領域は定電圧特性を示し、ベースに制御能力がない。この状態で大電流を供給し続けると局部加熱で破壊し、再度、電圧低下が起こる。しかし、短時間で供給電流を断てば、破壊せずに2次降伏領域から復帰する。

アバランシェ・トランジスタとは、この特性を使うもので、バイポーラ・トランジスタのスイッチング・モードの一つである。全てのトランジスタで観測できる特性ではないが、安価な小型NP Nトランジスタの中に見つけることができる。

絶対最大定格を越えての使用で、半導体メーカーの保証外になるが、他モードで得られない高速・

大振幅パルスが得られるので、古くから特殊用途に使われている。低いパルス繰り返し数が欠点である。2次降伏現象の理論が未確定で、1次降伏から2次降伏への移行時間（スイッチ速度）も明らかでない。

これまで約60種類、約2,000本のアバランシェ・トランジスタを測定、比較した。そして、

- ① 2次降伏電圧は1次降伏電圧の約 $\frac{1}{3}$ であること。
- ② 振幅の大きいトランジスタほど、1本で立上り遅いの遅い傾向があること。

また、2次降伏までの直流1次降伏特性から、

- ③ 1次降伏特性の変化で生じるパルス特性の変化やエージング効果の存在。
- ④ バイアス電流の揺らぎで生じるタイム・ジッタの存在等の特性を明らかにした。図1に、エージングによる1次降伏特性の変化例を示す。

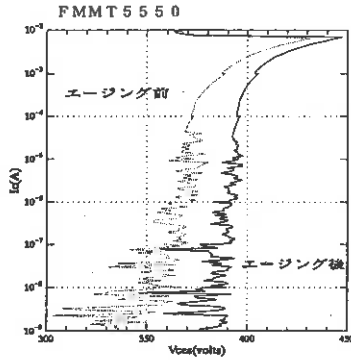


図1 エージング前後の1次降伏特性

3. 多段伝送線式パルサ

これまでテストしたトランジスタ中、2SC 3736 (NEC) が最高速のアバランシェ・トランジスタである。しかし、2次降伏を起こしやすいトランジスタで多段接続するには、安定に動作できるバイアス電流で選別する必要がある。

片側全面アースのプリント板上に長さ約30cmの50Ω伝送管を引き、片側50Ωで終端し、もう一方は、コンデンサ、同軸コネクタ、減衰器を通してオシロスコープに接続する。終端抵抗の近くをカットし2SC 3736 (NEC) を接続し、ベースにトリガを加える。コンデンサ近くに高抵抗を通して高圧を加え、トランジスタを1次降伏にバイアスする。これで、1段のアバランシェ・パルサーとなる。その後、約4cm毎に伝送線をカットし、そこに2SC 3736を追加し、バイアス電圧を上げ、波形を観測する。

こうするとトランジスタ追加でも、初段トラン

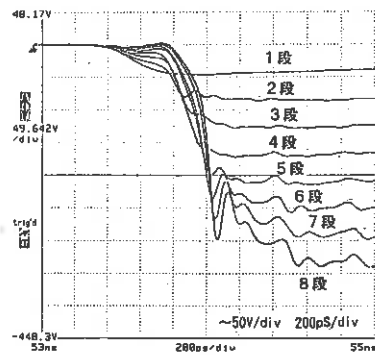


図3 2SC 3736段数追加による波形の変化

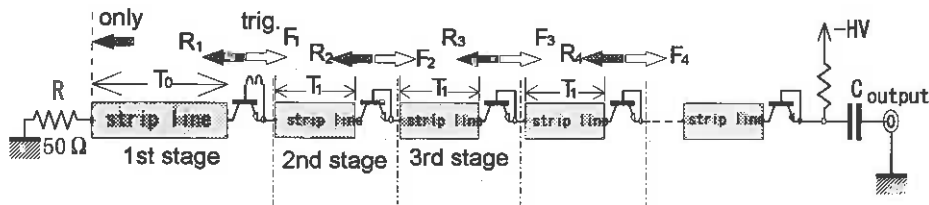


図2 多数伝送線式パルサー回路

ジスタからオシロスコープまでの伝送線長さが変化しないので、トランジスタ追加によるパルスの遅れも測定できる。図2に立体回路で示す。CR (Capacitor, Resistor) 放電型多段伝送線式パルサーと名付けた。立下がり時間がCRの時定数で決まるステップ応答パルサーである。

2SC 3736を1段から8段まで追加して得られた波形を図3に示す。これから、

- ① トランジスタの段数増加は、振幅が大きくなるだけでなく、立上がりも速くなる。
- ② 遅れ時間は、アバランシェ・トランジスタの1次降伏から2次降伏への移行時間になるが、トランジスタが5段位になると、1段当たりの遅れは、 $\sim 20\text{pS}$ となる。これは、トランジスタ内部のリード線インダクタンス $\sim 1\text{nH}$ による遅れ($\sim 10\text{pS}$)も含まれ、1次降伏から2次降伏への移行時間は $\sim 10\text{pS}$ と予測できる。

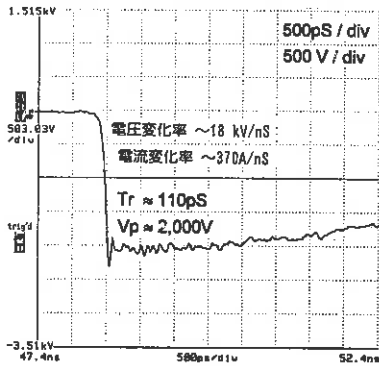


図4 ステップ応答波形

2SC 3746×6段+FMMT 493×2段
+FMMT 415×5段+FMMT 415×7段

- ③ 2SC 3736は、立上がり時間が $\sim 150\text{pS}$ 以下になると振動が大きくなり、高速化するほど、振動も大きくなる。

超高速パルサーに高速アバランシェ・トランジスタが必要と考えていたが、この結果から、2SC 3736で立上がり時間 100pS は実現できないと判断した。しかし、立上りの遅いトランジスタを単純な伝送線で多段化してもタイム・ジッタが大きくなる等問題があり、高速化は難しい。そこで、2SC 3736 ~ 6 段で発生したステップ・パルスで、1段では遅いアバランシェ・トランジスタをドライブする方式とした。

トリガ段2SC 3736 6段、ドライバ段FMMT 493 (ZETEX社) 2段+FMMT415 (ZETEX社) 5段、出力段 FMMT415 7段構成で得たステップ波形を図4に、これを11cm長セミリジッド・ケーブルでクリップして得た矩形波を図5に示す。これはSPring 8電子銃特性テストに使用されている。

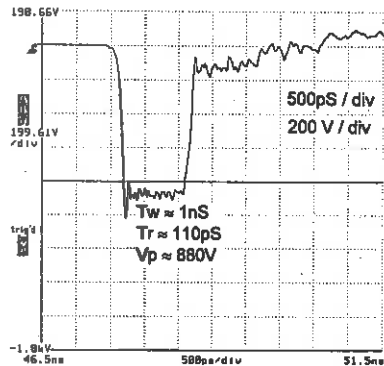


図5 矩形波出力

(11cmケーブル・クリッピング)

4. おわりに

開発当初、立上がり時間 500pS 程度を目標にした。しかし、後日、英国 Kentech社が $\sim 100\text{pS}$ パルサーを商品化したことを知り、 100pS にした。そして、長期間を要したが、自己流で $\sim 100\text{pS}$ が実現できた。今後、他施設の装置を借りて電子銃

での実装テストを計画している。

本技術開発は、京都大学原子炉実験所研究助成費(平成2 \sim 5年度)等々の援助をうけることでここまで継続することができた。ここに深謝いたします。