

ピコ秒パルス電子ビーム

裏 克 己

パルス技術は現在ナノ秒 ($ns = 10^{-9}$ 秒) からピコ秒 ($ps = 10^{-12}$ 秒) の範囲に伸びて来ている。しかし短ピコ秒すなわち10ps以下のパルス技術は発生・応用とも未だ研究すべき点が多く残されている。短ピコ秒パルス発生は、現在のところ電子ビームを用いるものと、レーザを用いるものがある。ここでは筆者の研究室で手がけている電子ビームによるピコ秒パルスの発生・計測・応用を簡単に紹介したい。

ピコ秒パルス電子ビームの発生と計測

われわれが用いている発生方法は図1のように偏向板に1GHz_z (周期: 1000ps) のマイクロ波電圧を印加し、スリットで切りとる方法である。これは古くから知られていて原理的には何の問題もない。パルス幅は偏向電圧と偏向周波数に逆比例することが図1から予想される。しかし実際に、パルス幅を短くするために偏向電圧 (または偏向電力) を増して行くと最初の間は図2に示すように確かにパルス幅は短くなる。しかしある限度を越すとパルス幅は短くならないで反って長くなることがわれわれの実験で判った。

図2の実線はこれを説明するために考案した理論計算値である。この理論によると偏向周波数を高めても、また偏向方式を変えても、得られるパルス幅には最小値が存在し、これは主としてビーム半径で決まることが判った。

10ps以下のパルス測定には通常のブラウン管オシロは無力である。われわれは図3のようにもう一組の偏向器に90°位相差の1GHz_zを印加し、リサーチ法で測定した。この方法の時間分解能はビーム径で決まる。現在製作中のパルス電子ビーム装置では測定分解能0.05psの設計で、0.5psのサブピコ秒パルスビーム (世界最短) を発生させる予定である。

なおピコ秒パルス電子ビーム発生方法として電子の進行方向にパルス電界および超高周波電界を作用させる方法もあるが詳細は省く。

ピコ秒パルス電子ビームの応用

これは大きく分けると、ストロボ電子顕微鏡、電子デバイス、物性研究になる。

[ストロボ電子顕微鏡]

これは通常の電子顕微鏡がもつ空間拡大機能に、時間拡大機能を持たせたものである。

動きのある試料に、ある短い期間だけ電子を照射し、その電子顕微鏡像を写真にとれば、動きを止めて見ることができる。これは通常の光の場合のストロボ撮影と同じである。電子顕微鏡の観察の対象となり、しかも速い現象となれば金属中を音速程度で伝る現象がある。たとえばクラックの進行、各種の相転移、刃状転位の動きなどがある。金属中での音は1psで10Å伝るから、ピコ秒電子顕微鏡により、これらの現象を原子単位で追うことも夢ではない。

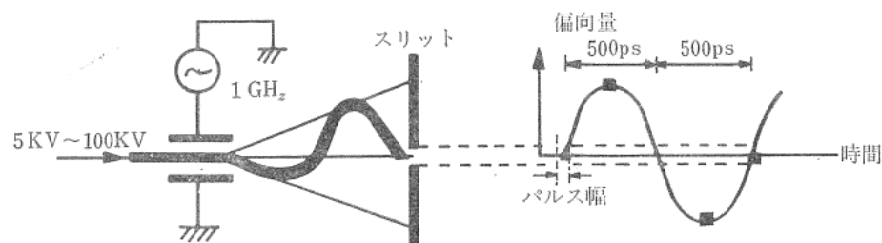


図1 横形ゲートによるパルスビームの発生

* 裏克己 (Katsumi URA), 大阪大学, 工学部, 電子ビーム研究施設, 教授, 工博, 電子工学

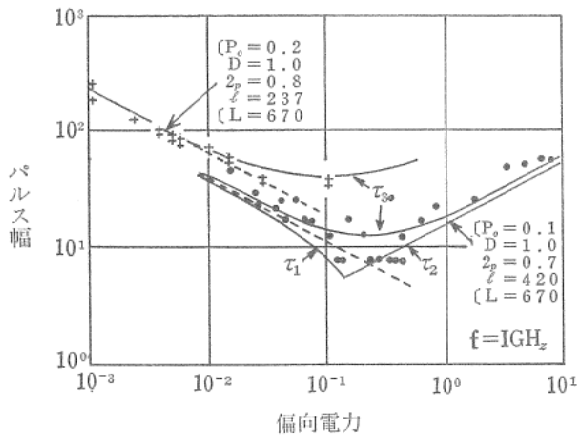


図2 偏向器電力対パルス幅の測定値と計算値

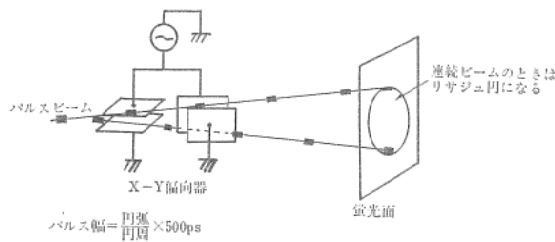


図3 リサージュ法によるパルス幅の測定

動きの速い現象は何と云っても電気現象である。現在の論理演算用 IC または LSI は ns 程度の動作をしている。これらのデバイスの動作状態での電位分布を空間分解能 $0.1\mu\text{m}$ 、時間分解能 10ps 以下で観測できれば、デバイスの研究または検査に非常な偉力を発揮する。これは話題になっている超 LSI 開発には絶好の装置になる。

われわれの研究室では51年度特別設備費および科研費を受け、ストロボ電子顕微鏡の基礎研究のための装置を製作中である。

〔超電導ライナック〕

ライナックは数 MeV 以上の加速器として、工業用、医療用の X 線源、原子核、素粒子研究用に使われている。最近、加速管を超電導化することでその性能向上が試みられている。とくに加速エネルギーの安定性のよい ($\leq 10^{-4}$) 電子線源として $5\sim 10\text{ MeV}$ 電子顕微鏡の加速系に用いる試みがある。このさいライナックの入射ビームはピコ秒パルス電子ビームを必要とする。

〔高周波電界電子レンズ〕

通常の回転対称な静電・磁界レンズと異なり、

高周波電界レンズでは色収差係数と球面収差係数が負の位相領域をもつので収差補正が可能となる。これにはピコ秒程度のパルスビームが必要となる。

この技術は前項の超電導ライナックを用いた超高圧電子顕微鏡の色収差補正に用いれば、加速系のエネルギー変動率に対する制約を緩和できるので、とくに有効である。

〔超高速 PCM 通信〕

Si の逆バイアスした pn 接合に $10\text{KeV}\sim 20\text{KeV}$ の電子を照射すると約2000倍の電流増倍が得られる。これを用いてピコ秒回路電流を発生させる試みがある。またこのさい図1のような偏向板を何組か通過させると PCM が可能である。

しかし短ピコ秒程度の低損失の伝送線路が現在のところ見つかっていないので、むしろ PCM されたピコ秒パルス電子ビームをレーザのトリガーに用い、光通信における超高速変調器として用いる方が実現性が高いであろう。

電子デバイスの固体化の傾向は動かせないが、何と云っても真空中の電子の動きをコントロールすることは気体中または固体中でやるよりも遙かに容易で、しかも確実である。したがって、ピコ秒パルス技術においても、パルス電子ビーム技術が先導的役割を果すのは当然のことであろう。

〔物性研究：ピコ秒パルス放射分析〕

物質（固体・気体・液体）に高速粒子線を照射すると、入射粒子線のエネルギー散逸過程として構成原子・分子の励起・イオン化、2次電子発生、ラジカルの発生などが起る。これに引き続いて各種の緩和過程、たとえば X 線、光、Auger 電子の放出、あるいは分子の解離、新しい別のラジカルの発生などが続いて起る。この緩和時間は起る現象によって 10^{-13} 秒から何時間というように大幅に変る。

この分野の研究もナノ秒からピコ秒領域に移りつつある。ピコ秒パルス光を用いる物性研究も最近話題を集めているが、これに比べ電子ビームの起す現象の多様さと、制御性の良いことが特長である。