

ピコ秒パルスラジオリシス装置の概要とその特性実験

沢村貞史 片山明石 (北大工)

1. まえがき 加速器技術の進歩と共に発展してきたパルスラジオリシス法は、水和電子の存在を直接的にうらづけた1962年当時^{1,2)}のマイクロ秒領域から著るしく進展し、現在ではナノ秒、ピコ秒領域での放射線化学反応の素過程の解明に貢献しつつある。ナノ秒パルスラジオリシス法はマイクロ秒のそれと本質的には同一の手法が採用されているが、分析光の点灯法、ライナックとの同期のとり方、吸収信号の観測法等に工夫がなされている。一方、ピコ秒領域のパルスラジオリシス法は幾つかの異なった方法が採用されている。ここではJ.W. Hunt等³⁾が創始したストロボスコピー法に基づき、著者等が試作したピコ秒パルスラジオリシス装置の概要⁴⁾と、その特性実験について述べる。

2. ストロボスコピー法によるピコ秒パルスラジオリシス装置 ライナックからのパルス電子ビームは加速機構に基づく微細構造を有し、Sバンド(約3GHz)ライナックの場合、パルス幅が10 nsecでも、そのパルスは繰り返し350 psec、幅約10 psecの微細構造パルスが30個集まったものからできている。Hunt等はこの微細構造を利用し、分析光として微細構造パルスが空气中で放射するチエレンコフ光を用いるストロボスコピーパルスラジオリシス法を発表した。この方式では吸収信号を測定するための電子装置がピコ秒の時間分解能を持っていないととも200 psecの時間分解能でパルスラジオリシスが可能になる。Photo.1にこの原理に基づき著者等が試作したストロボスコピーパルスラジオリシス装置の光学系を示す。線源としては北大45 MeVライナックを用い、10 nsecパルス幅で運転された。ピーク電流は約1.5 Aであり、ビームの直径は加速管出口で約8 mm、サンプルセルの位置で約10 mmである。Fig.1は装置全体のブロック図である。移動ミラーはパルスモータにより前後に駆動され(1パルス当り $1/8$ mm)、移動距離は15 cmで、これによって光路は30 cm変わるので移動ミラーの移動によるチエレンコフ光の遅延時間は1 nsecとなる。従って微細構造パルス間隔(350 psec)の2倍以上の遅延が可能である。光学系の調整はレーザー光を用いて行われる。Fig.1に於ける分光器、光電子増倍管をとりはずし、最初の薄板ミラー(0.13 mm厚)を通してレーザー光を入射させ、光電子増倍管(東芝MS-95T, 浜松R136)の位置からビーム軸に直角に4 m離れた点(加速器室のしゃへい壁)でのレーザー光スポットのずれにより調整している。現在、この位置での光スポットのずれは2 cm以内である。吸収信号を算出するためにはAモード(分析用チエレンコフ光 I_0 + バックグラウンドチエレンコフ光 I_1 - 吸収 S)、Bモード(I_0)、Cモード(I_1)の各モードに於ける信号を測定することが必要である。これらのモードは光学系に付加されている鉛セクター(5 cm厚)とこれに連動して回転するアルミ製の光チヨッパーとによって作り出される。鉛セクター、光チヨッパーは手動及び自動で回転できる。鉛セクターと同期してライナックを運転するためにモード信号発生器(マークセンサー, シャープGP-500)を鉛セクターに取り付けていたが、放射線の影響を強く受け、モード信号以外のパルスも発生するため、現在は光チヨッパーでレーザー光をパルス化し、このレーザー光をしゃへい壁の外

側へ導きフォトトランジスタで受光することによりモード信号パルスを得ている。

3. 特性実験 Fig. 2 にモード A, 波長 415 nm における光電子増倍管 (MS-95Y, $HD = -600V$) の出力波形を示す。負荷抵抗は 50Ω である。光電子増倍管は光入力信号に対するダイナミックレンジを広げるために 5 段増幅で使用している。Fig. 3 に積分器, 増幅器の直線性を示す。たて軸は積分器または増幅器の出力を A/D 変換した後のテレタイプ出力である。光信号に対する光電子増倍管からの出力パルスは半値幅約 40 nsec であるが, パルスジェネレータ (P.G.), (タケダ理研, TR-4214) からの出力パルス幅 30, 40, 50 nsec に対して良好な直線性が得られた。Fig. 4 はミラーを移動しながら測定した各モード信号の変化である。出力は 20 個の測定値の変化である。A, B, C 各モードは手動で選択した。I₀ を与える B モードでは, ミラーが 80 mm 移動したとき約 60% に減少した。C モードはミラーの移動に無関係であるため一定の強度を与えている。吸収信号 $S = B + C - A$ が 0 になっているのは Fig. 3 に示した積分器, 増幅器の良好な直線性から光電子増倍管の非直線性によるものと考えられる。Fig. 5 は木を照射したときの吸収%の測定値である。Fig. 4 にみられる時間に対する右エリの傾向は Fig. 5 にもあらわれているが 350 psec 間隔で水和電子によるものと考えられる吸収が見られた。微細構造パルス当りの線量は約 50 rads で, $G = 4$ として計算される吸収%は約 1% であるが, Fig. 5 の最初の吸収は約 10% で計算と一致しない。これは電子線パルスのゆらぎ, または光軸と電子ビーム軸とのずれ等に起因する可能性もあるが明確ではない。後の吸収は約 1.5% で計算とほぼ一致する。

4. 考察 ストロブスコープ法では吸収減衰を容易に解析し得る時間領域は加速に用いるマイクロ波の周波数によって規定され, 例えば北大 45 MeV ライナックで使用されている S バンドの場合にはパルス照射後の ~ 350 psec である。この時間制限を取り除くためには加速器から単一の微細構造パルスを発生させるのが望ましい。EG&G 社の Norris & Hanst⁽⁶⁾ やアルゴンヌ研究所の Mavrogenes⁽⁷⁾ 等は L バンド (約 1.3 GHz) ライナックを用いて幅約 40 psec, 電荷量 12 nC の単一パルスの発生に成功している。北大ライナックの場合, パルス幅 10 nsec での 1 パルス当りの電荷量は約 10 nC であり, サブハーモニックバンチャーを用いた Norris 等の方法は強度の点からみても十分すぐれており, ピコ秒パルスラジオリシスの強力な線源となりうる。著者等も単一ピコ秒パルス電子ビームの取り出しを目的として, 文部省科学研究費の補助を得て電子銃やパルサーの研究を開始しようとしている。

参考文献

- (1) E. J. Hart, J. W. Boag; J. Amer. Chem. Soc., 84, 4090 (1962).
- (2) J. P. Keen; Nature (London), 197, 47 (1963).
- (3) M. J. Bronskill, J. W. Hunt; J. Phys. Chem., 72, 3762 (1968).
- (4) 佐香他; 北大工学部研究報告第 75 号 (1975)
- (5) J. W. Hunt et al.; J. Phys. Chem., 77, 428 (1973).
- (6) N. J. Norris, R. K. Hanst; IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-16, 323 (1969).
- (7) G. Mavrogenes, W. Ramler, W. Wesolowski, K. Johnson, G. Cliff; IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-20, 919 (1973).

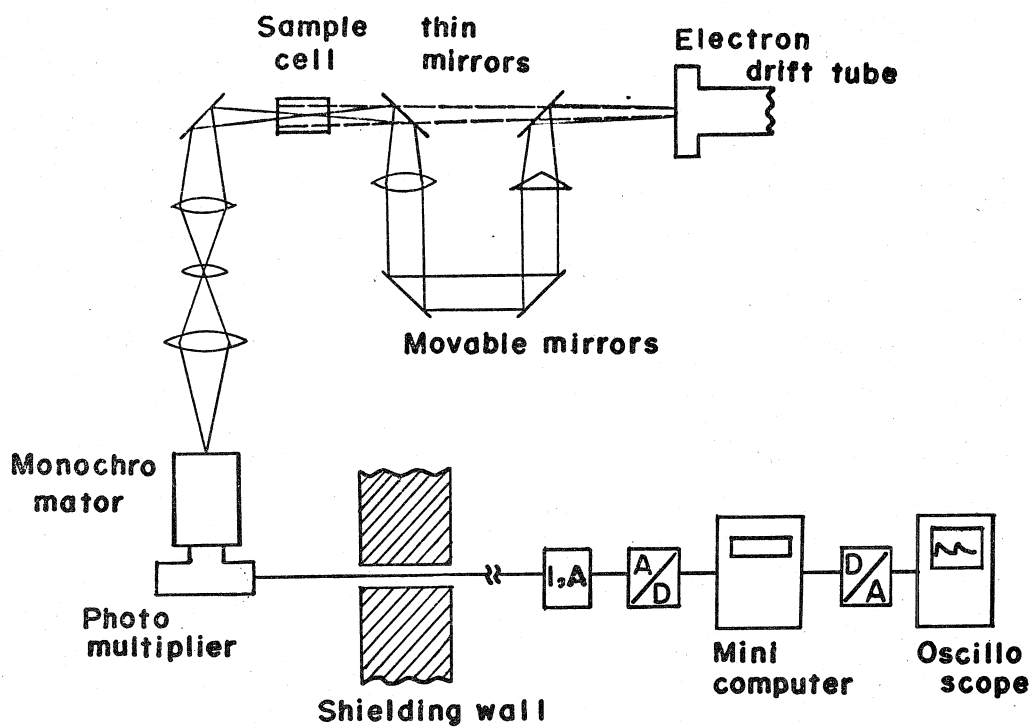
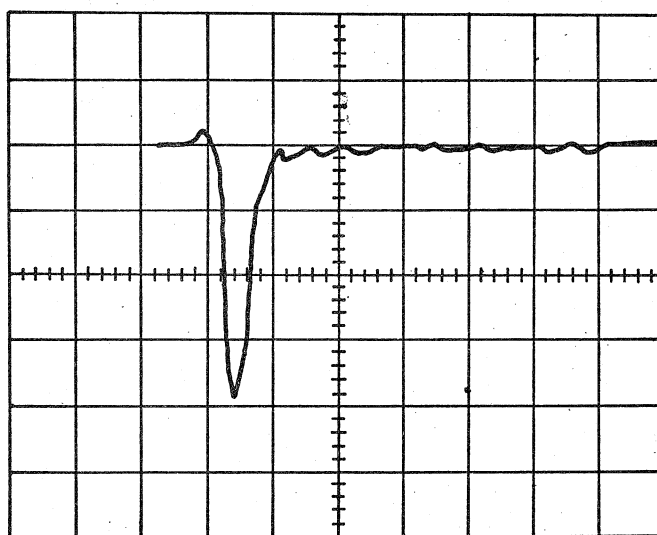


Fig.1 Components of the stroboscopic pulse radiolysis system



**Fig2 Out put pulse from the P.M. tube
(0.1v/div , 100nsec/div)**

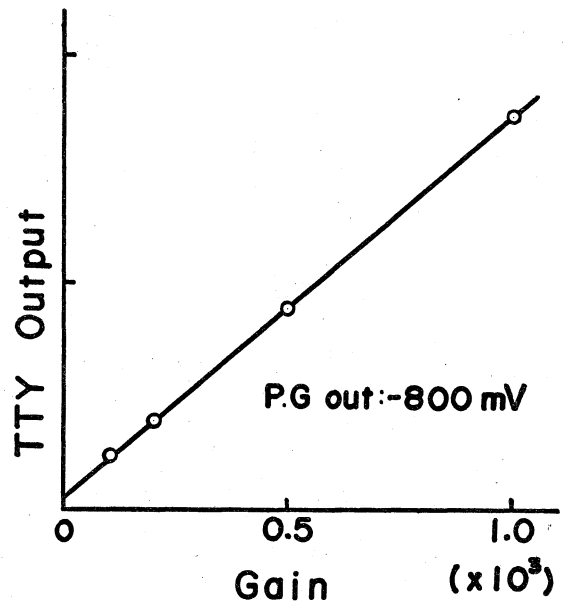
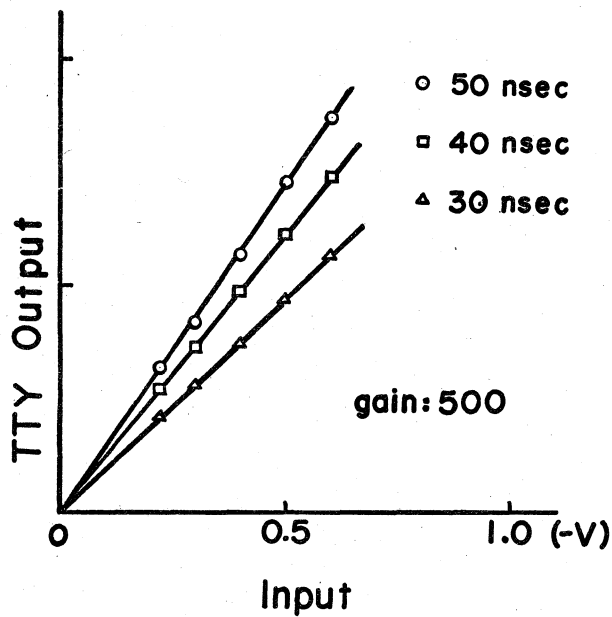


Fig.3 Linearity of the integrating circuit

Linearity of Amplifier

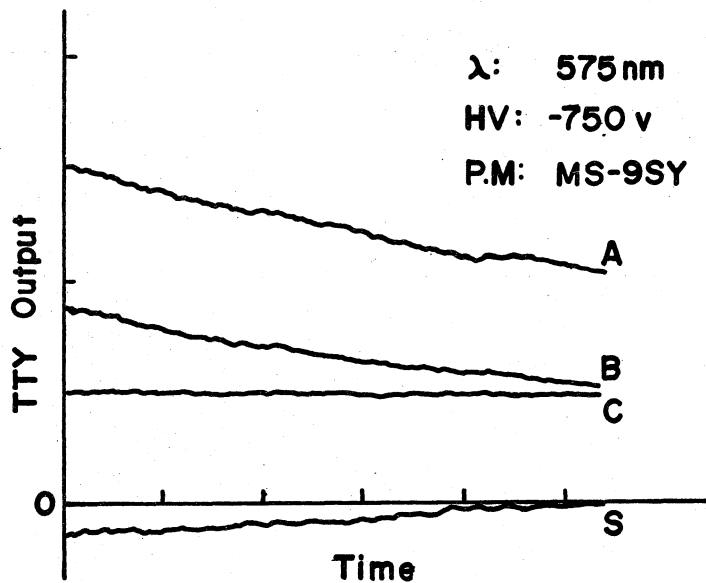


Fig. 4 Kinetic traces without any samples

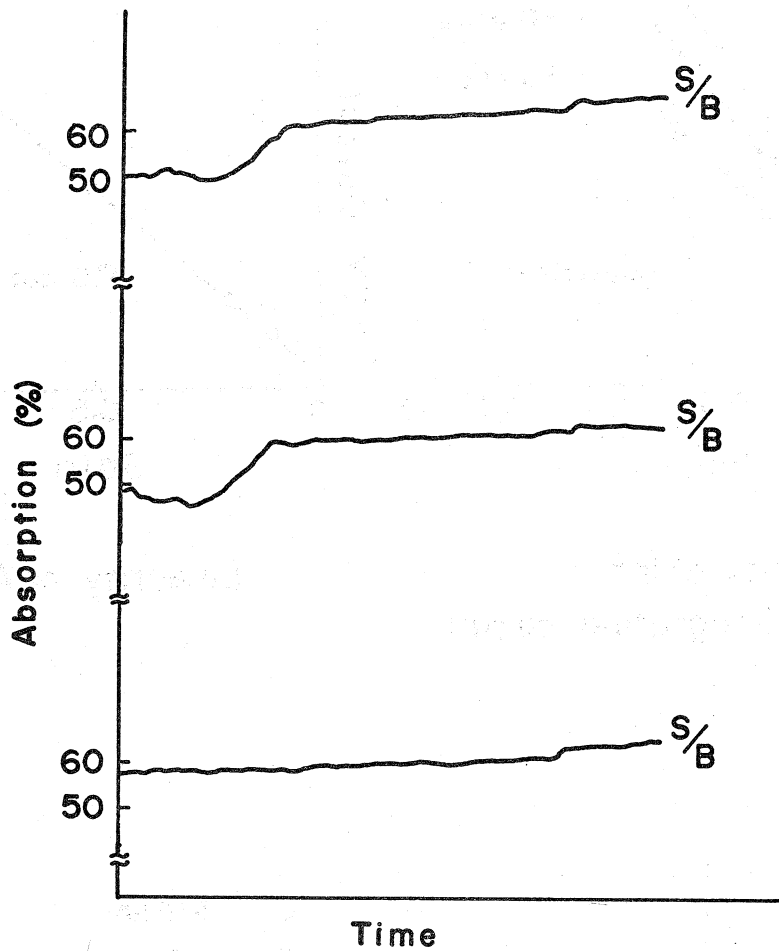


Fig.5 Kinetic traces

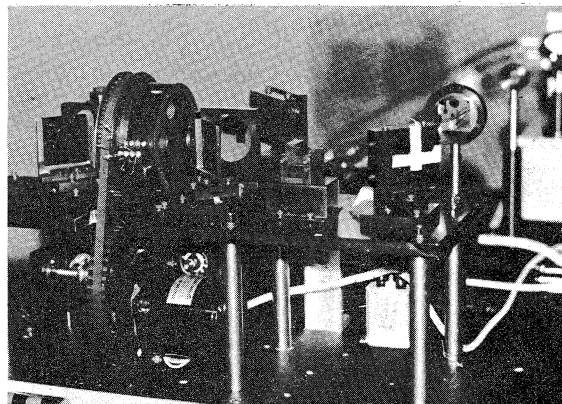


Photo.1 Photograph of the optical system