

レーザー・ガスパルス同期用分周器の設計

福士 博樹¹、千貝 健¹、渡部 直樹^{2,3}

1. 技術部先端技術支援室
2. 共同研究推進部
3. 雪氷新領域部門宇宙雪氷学理論惑星科学

はじめに

低温氷表面における分子の反応・蒸発プロセスが時間とともにどのように進んでいくかを調べる方法の一つに、レーザーによって分子を表面から脱離させて、その脱離分子をもう一つのレーザーで検出するテクニックがある。手順は以下の通りである。

- ① 氷表面への（パルスガスによる）分子の蒸着
- ② 氷表面への分子脱離用パルスレーザーの照射
- ③ 脱離分子をもう一つのパルスレーザーで検出

これら①から③の手順を、ある周波数で繰り返してデータを蓄積する。③のパルスレーザーは 10 Hz の固定周波数で動作しているため、すべてのトリガはこの 10 Hz のトリガ信号に同期させなければならない。プロセスの時間発展を調べるために、①と②の手順の間に時間的な遅延を発生させて③で得られる信号強度の変化を測定する必要がある（詳しくは[1]参照）。そこで多種類の時間遅延を発生させるため、10 Hz から多数の分周波形を作り出す分周器を製作した。

分周器のハードウェア

設計の条件は以下である。

1. 10 Hz パルス（図 1 の CLK）から、 $1/2^1$ 、 $1/2^2$ 、...、 $1/2^n$ の分周波形（図 1 の Q_1 、 Q_2 、...）を作成する。ただし、 n は実験でどこまで必要となるか不明なので、なるべく大きな値とする。
2. 入力信号から出力信号までの伝播遅延を可能な限り縮める。
3. 接続負荷の入力インピーダンスは $1\text{ M}\Omega$ と $50\ \Omega$ の両方で可能とする。
4. 完成したハードウェアを既存の狭小筐体スペースに組み込む。

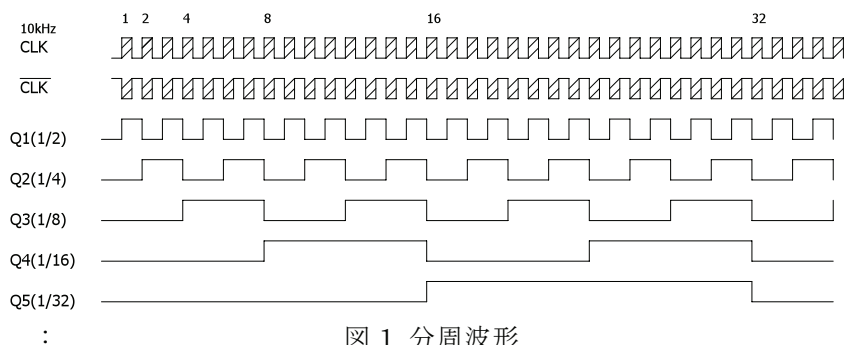


図 1 分周波形

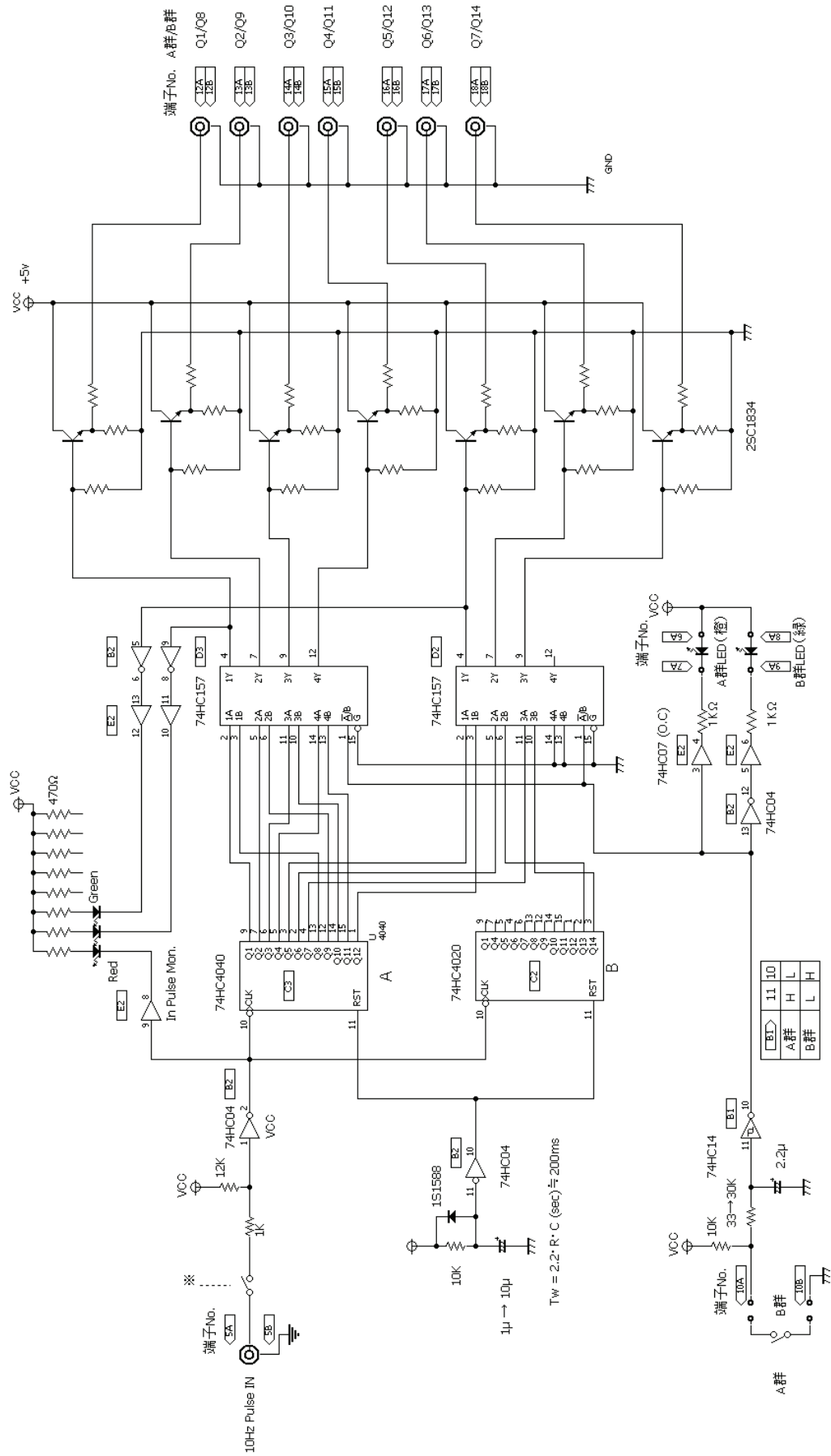


图 2 回路图

完成した回路図を図 2 に示す。この回路の目的は多種類の分周波形を発生させることである。汎用ロジック IC のみの組合せで構築してしまうと、回路が複雑化し、信号の伝播に影響を及ぼす。その対策として、分周専用の IC を用いた。回路図中の 74HC4040 と 74HC4020 がその IC であるが、これらを組合せることにより分周率は $1/2^1$ から $1/2^{14}$ まで出力可能となる。しかし、狭小筐体のため 14 種類の波形すべてを BNC コネクターで取り出すことが出来ない。そこで切替によって 7 波形ごと 2 群に分け、前面パネルから出力させている。なお波形のデューティ比は 50% である。図 3 は、接続負荷を 50Ω とした時の $1/2^2$ 分周波形出力例である。

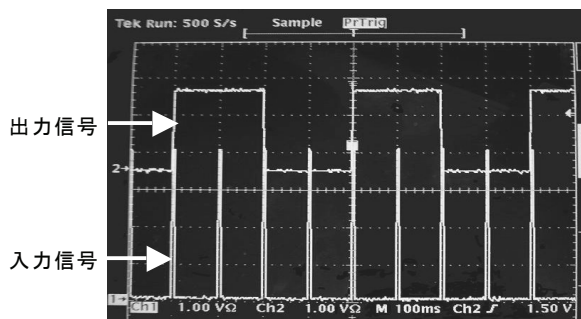


図 3 $1/2^2$ 分周波形

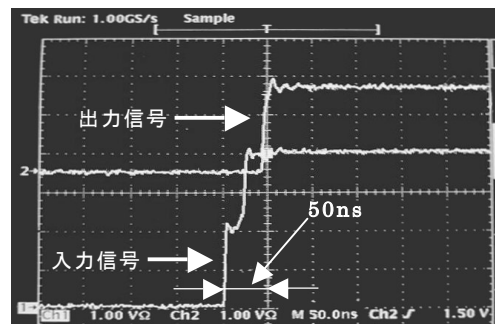


図 4 出力波形の伝播遅延

また信号の伝播遅延要因となる素子を避け、回路を単純化した。試作段階では、入力回路にオーバーシュート / アンダーシュートによる過電圧防止用のダイオードおよびノイズ処理用のコンデンサを挿入し、それを波形整形用のシュミットトリガ回路で受けてみたが、信号の伝播遅延が数百 μs も生じてしまった。単にプルアップ抵抗と単純なインバータ回路で構成すると、伝播遅延が 50 ns まで短縮された (図 4)。

出力は、接続負荷である高 / 低両インピーダンスに対応させなければならない。最初の試作では、高インピーダンスの負荷を駆動するのみに留まった。次の試作では、出力に高電流駆動用 IC を用いた。しかし、低インピーダンスの負荷は無論駆動可能となるが、多大な電流を必要とし、抵抗の発熱[2, 3]が起こった。狭小スペースに DC / DC 電源回路も内蔵させるため、低消費電力に抑える必要性からこの IC は実用的ではない。出力回路をエミッタフォロア[4]としたところ、高電流駆動用 IC を用いた場合と比較して消費電力が $1/3$ 以下になったため採用した。

完成した分周器の写真を図 5 に、また実験室での動作テストのようすを図 6 に示す。

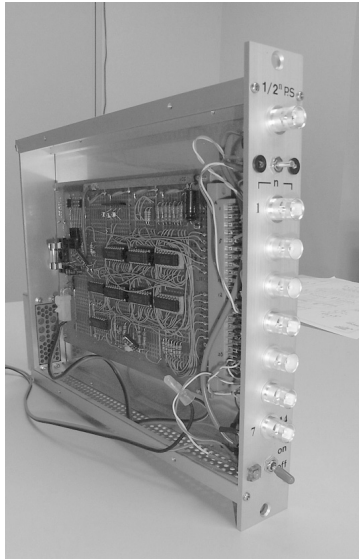


図 5 分周器

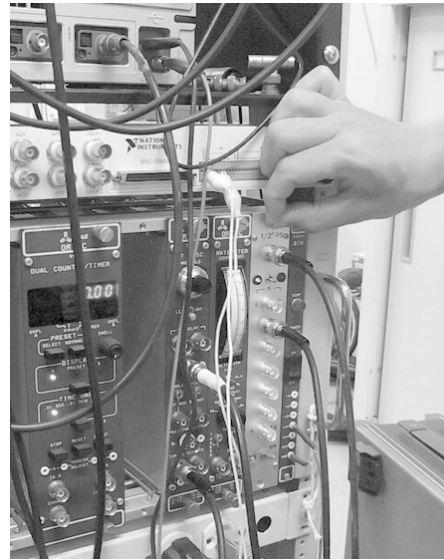


図 6 実験室での動作テスト

おわりに

パルスガスによる分子の蒸着トリガ用として、10 Hz から多数の分周波形を作り出す回路を製作した。

信号の伝播速度を考慮する場合、回路の遅延要素をこまめに取り除く確認作業が必要である。また出力回路では思わぬ苦勞をしてしまったが、接続する外部機器の状況を把握し、論理の流れだけでは見えにくい部分にも慎重さが必要である。

謝辞

回路を設計するにあたり、(株)ジェイ・ツーの大井正行氏には、技術的に貴重なご意見を賜りました。また、技術部装置開発室の中坪技術専門職員には、狭小筐体への実装について有益なご意見と精密な加工を行っていただきました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

1. 木村 勇氣、日高 宏、香内 晃、渡辺 直樹
「低温基板表面上における吸着分子のオルソ-パラ転換」
北海道大学低温科学研究所技術部技術報告、14、2008年12月 p.1-4
2. トランジスタ技術 SPECIAL 編集部「コンデンサ / 抵抗 / コイル活用入門」
CQ 出版株式会社、2006年8月 p.12-14
3. トランジスタ技術 SPECIAL 編集部「抵抗&コンデンサ活用ノート」
CQ 出版株式会社、2008年4月 p.24-31
4. 鈴木 雅臣「続トランジスタ回路の設計」CQ 出版株式会社、2005年6月 p.196-201