U.D.C. 621.382.23 :: 535.35 : 621.383.5] : 681.584.72

光制御電力用半導体素子

Light Controlled High Power Semiconductor Devices

八尾　勉*　*Tsutomu Yatsuo*
菅原　徹*　*Tôru Sugawara*
池田裕彦**　*Yasuhiko Ikeda*
和島幸一**　*Kôichi Wajima*

光制御方式の電力用半導体スイッチのうち，発光ダイオードと双方向性サイリスタをカップリングした電力用光双方向性サイリスタと，ホト　カップラを利用した交流電力リレーについて，その特長，構造及び電気的特性について述べた。光駆動双方向性サイリスタは，従来の電気駆動双方向性サイリスタより優れた転流特性をもち，大容量の交流制御ができる。出力10mWの発光ダイオードで駆動される転流 dv/dt 耐量100V/μsの光双方向性サイリスタを開発した。また，双方向性サイリスタの駆動回路にホト　カップラを用い，ゼロ電圧駆動回路と一緒に一体化した無接点交流リレーは，従来の電磁式リレーに比べてノイズ発生が少なく，電気ノイズをきらう集積回路の制御信号によって交流電力を直接制御できる利点をもつ。

1　緒　　言

半導体素子が光に敏感であることを利用して，従来から種種の受光素子が製品化されている。一方，'70年代に入って化合物半導体を用いた信頼性の高い発光ダイオードが作られるようになった結果，これと受光素子を組み合わせ光を媒体として信号の伝達を行なう，いわゆるホト　カップラ(*1)の製品化も進んでいる。中でも，ガリウムひ素発光ダイオードの発光波長はシリコン素子との適合性が良いことから，この組合せが主として用いられている。

ホト　カップラは，入・出力間が電気的に絶縁されているため，電位レベルの異なる回路でも結合でき，コモン　モードの雑音が少ない，応答速度が速く，広帯域の信号伝達が可能である，小形・軽量・堅牢であるなどの特長があり，これらの特長を生かしてアイソレータ，パルス　トランス，固体リレーなどとして広範な分野で利用が進められている。

本稿では，最近開発された光応用素子の中からホト　カップリングを利用したユニークな電力用素子である光双方向性ホトサイリスタ(以下，光ＦＬＳと略す)(*2)　と産業用などに広く利用できる光結合交流電力リレー(以下，ＳＰＳと略す)についてその概要を述べる。

2　電力用光ＦＬＳ

2.1　特　　長

双方向性サイリスタ(以下，ＦＬＳと略す)は，便利な交流制御素子として家庭電気品などに広く使われている。しかし，電気ゲートで駆動する従来のＦＬＳは転流時に誤動作を起こしやすい難点があり，このことが大容量モータ制御など高電圧・大電流回路への応用に当たって大きな障害になっていた。この誤動作は，一体化された二つのサイリスタが互いに影響を及ぼし合うために起こるもので，従来の素子構造では改善に限界がある。

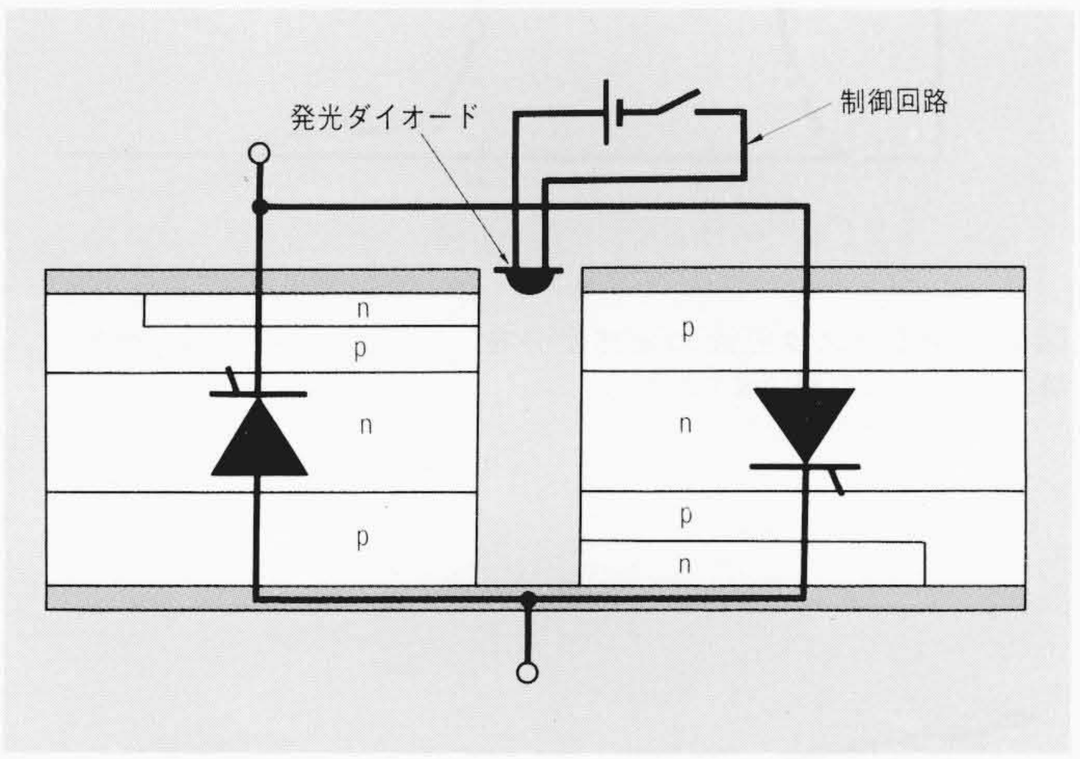

図１　光制御方式のＦＬＳの構成　　左右サイリスタは分離配列され，それぞれ発光ダイオードの光で直接駆動される。サイリスタ間の相互作用はない。

光ＦＬＳは，この問題を解消した全く新しい交流制御スイッチ素子である。**図１**に光ＦＬＳの構成と等価回路を示す。互いに逆向きの左右サイリスタは，中間に配置された発光ダイオードから放射する赤外光でそれぞれ直接駆動される。両サイリスタは全く独立に動作させるため空間的に分離した配置で組み込まれている。従って，転流時の誤動作の原因となるサイリスタ間の相互作用は完全に取り除かれ，転流特性(転流dv/dt，di/dt耐量)が飛躍的に向上する。

また，これに伴い電流容量の増大，耐電圧の向上が可能になり，ＦＬＳの大容量化が実現できる。

2.2　構　　造

光ＦＬＳでは，一体化される二つのサイリスタがほぼ均等な光信号でターン　オンできるような受光素子の構造，及び発光ダイオードとの結合方法が必要である。**図２**にpnpn４層が積層されたサイリスタの光レスポンスの分布を示す。サイリスタの断面に約50$\mu\phi$の光スポット(タングステン電球の光)を

(*1)　発光素子と受光素子が組み合わさり，光を媒体として信号を伝達する機能素子。

(*2)　一般にＡＣサイリスタ，ＦＬＳ，トライアックなどと呼ばれているもので，１個の素子の中に，サイリスタが２個逆方向に並列接続されたと同等の機能を有する素子。一般100V/200V/400V交流回路の半導体固体スイッチとして使用される。

*　日立製作所日立研究所　　**　日立製作所日立工場

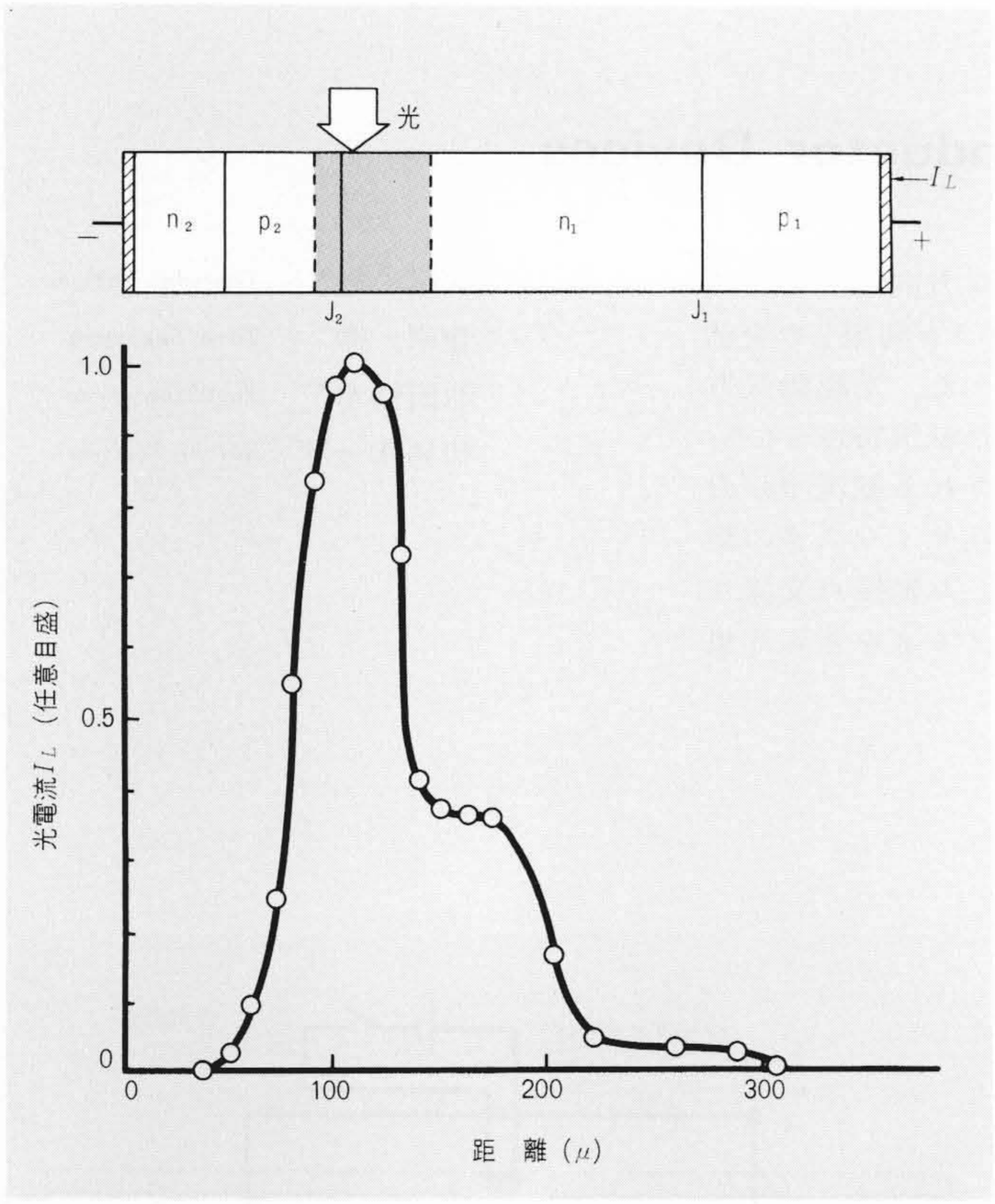

図2 サイリスタ断面の光感度分布 光レスポンスの高い部分は，n_1層に広がった空乏層領域である。

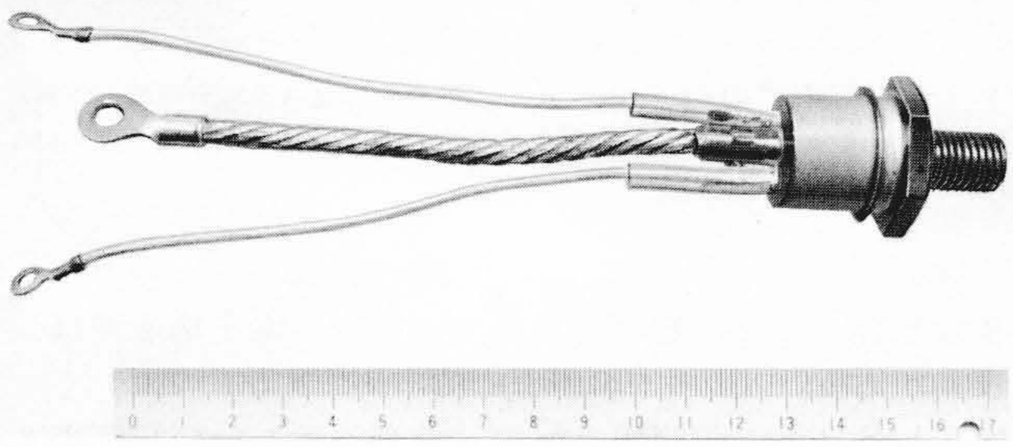

図3 光FLSの外観 二つの絶縁された制御端子がある。この端子から発光ダイオードを順バイアスする向きの制御信号を投入する。

照射し発生する光電流の分布を示したものである。光レスポンスの高いのはn_1層，特に中央接合(J_2)付近に広がる空乏層の領域である。このことから，光FLSの場合，逆並列に一体化された左右サイリスタの高い光レスポンス領域はちょうどn_1層の厚さだけ上下にずれることになり，光信号を素子の一方の面から照射すると，シリコン中での光吸収によって左右サイリスタの点弧感度がアンバランスになる。

電力用光FLSで次に問題になるのは，光点弧感度とdv/dt耐量である。しかし，これらは相反する関係にあり，いずれもnエミッタ接合の短絡の程度に関係している。所要のdv/dt耐量のFLSには相応の程度にエミッタ接合を短絡しておく必要があり，これによって点弧感度は制限される。しかし，光源として用いる発光ダイオードからあまり大きな光信号が得られないので，点弧感度をできるだけ高くすることが大切である。

このためには発光ダイオードから放出される光を効率よく受光部に導く光結合方法，並びに受光部の短絡構造が採られねばならない。

図3は我々が開発した光FLSである。主端子から絶縁された2本の制御端子に発光ダイオードが接続されており，この制御端子間に発光ダイオードが順バイアスされる向きの制御信号が与えられると，FLSは点弧する。素子の内部では，発光ダイオードをはさんで左右サイリスタが分離配列され，それぞれの中央接合の端面露出部分に発光ダイオードの光を直接照射することによって，対称性の良い点弧感度をもたせている。また，発光ダイオードと受光素子との光結合には，光透過性の良い媒体材料が用いられ，集光性のある形状に充てんされている。これによって，光出力10mW程度の小さい発光ダイオードでFLSを容易に駆動できる高い光伝達効率を得ている。

2.3 電気的特性と応用

表1に試作した光FLSの主な電気特性を示す。従来の電気ゲート型FLSに比較して転流dv/dt，di/dt耐量が100V/μs，100A/μsとけた違いの高性能であるうえ，主回路と制御回路との間には1,500V以上の絶縁耐電圧がある。

この光FLSはモータ制御，温度調節など大容量交流制御回路への応用が期待される。

3 ホト カップラを利用した交流電力リレー(SPS)

3.1 回路構成と動作原理

図4にSPSの回路構成を示す。直流入力回路，ホト カッ

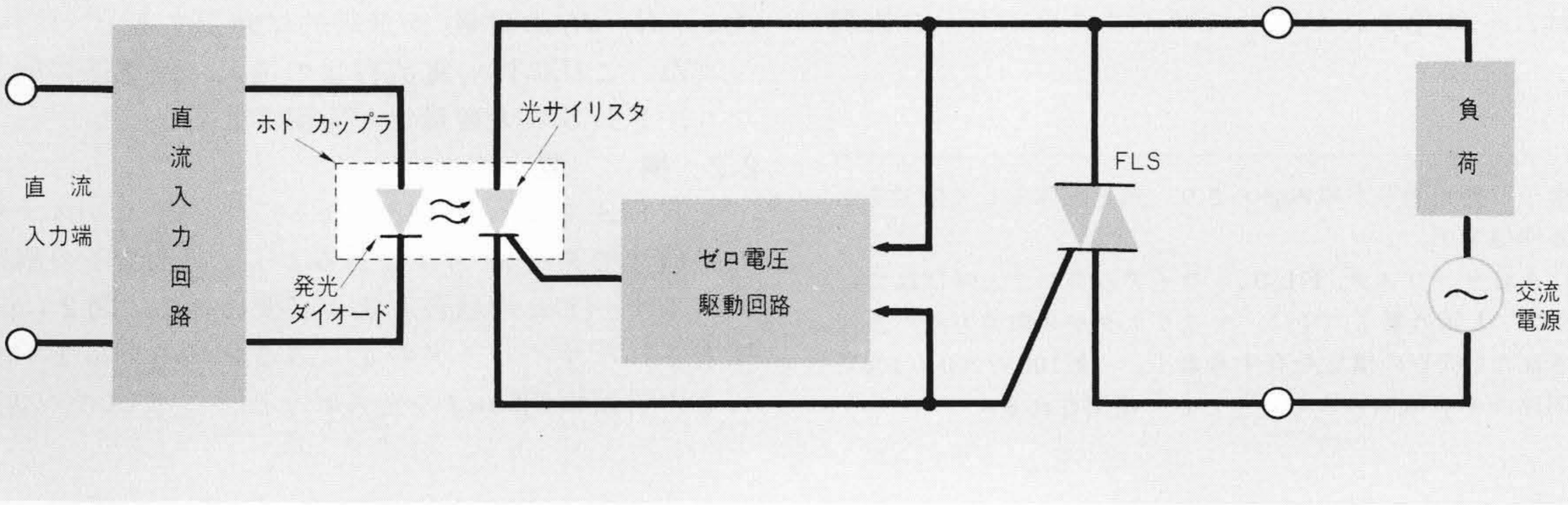

図4 SPSの回路構成 入・出力間電気絶縁と電気ノイズを特に考慮した構成を示す。

表1　試作光FLSの電気的特性　光FLSでは，電流容量，耐電圧などに関して，更に大容量化できる余地がある。

項　　目	単位	性　　能	条　　件
せん頭耐電圧	V	1,000	——
実効電流	A	100	RMS
オン状態電圧	V	2.3	I_L=300A
トリガ ゲート電流	mA	MAX. 100	25°C
トリガ ゲート電圧	V	MAX. 1.5	〃
臨界オフ状態電圧上昇率 (dv/dt)	V/μs	100	125°C
転流時臨界電圧上昇率 $(dv/dt)_c$	V/μs	〃	di/dt<100A/μs
転流時臨界電流上昇率 $(di/dt)_c$	A/μs	〃	dv/dt<100V/μs
ゲート絶縁耐電圧	V	MIN. 1,500	——
最高動作接合温度	°C	125	——

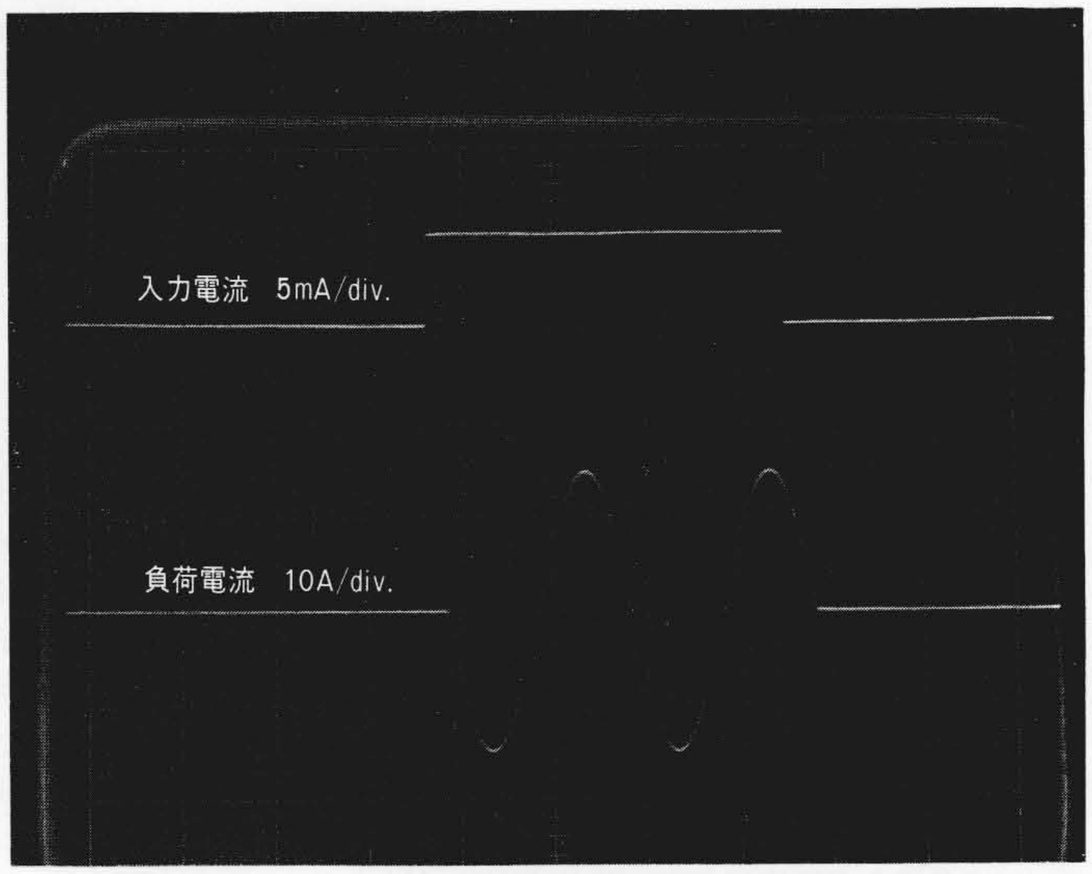

図5　SPSの入・出力波形　交流電源電圧がゼロ近傍のときのみ，オン・オフ動作する。

表2　SPSの仕様　直流信号で交流電力を制御でき，入・出力間の絶縁耐圧が高い。

項　　目	仕　　様
交流出力電圧	120V rms
交流出力電流	10A rms
出力素子	FLS
出力電圧降下	1.65V
出力保持電流	50mA
導通時入力電圧	3.0V以下
直流入力電圧	0～30V
ゼロ ボルト スイッチ機能*	あり
電圧上昇率 (dv/dt) 耐量	100V/μs
入・出力絶縁耐圧	1,500V

注：*ゼロ ボルト スイッチ機能とは，交流電源がゼロ電圧近傍のときにのみスイッチングすることを言う。

プラ，ゼロ電圧駆動回路及びFLSから成り，しきい値以上の直流電気信号を印加すると，このSPSは導通状態になり，負荷に交流電力を供給できるものである。この動作を以下簡単に説明する。入力端に設定値以上の直流電気信号を印加すると，直流入力回路からの直流定電流がホト カップラ中の発光ダイオードに流れる。発光ダイオードからの光により光サイリスタが点弧し，そこに流れた電流がFLSを駆動する。これによって，交流電源，負荷及びFLSから成る回路が閉じ，負荷に交流電力が供給される。そして，交流電源電圧がゼロ近傍になり，FLSに流れる電流が保持電流以下になると，FLSはしゃ断状態に反転して負荷電流が流れなくなる。

ゼロ電圧駆動回路は，交流電源電圧がゼロ近傍のときにのみ光サイリスタを点弧させる回路である。交流電源電圧を検出し，この電圧がゼロ近傍以外のときは，発光ダイオードが点灯していても光サイリスタは点弧しないよう動作する。それゆえ，SPSの導通，しゃ断の反転は交流電源電圧がゼロ近傍のときにのみ行なわれ，その際に発生する高周波のノイズは非常に小さい。また，容量性負荷などのときの突入電流も低減できる。**図5**にSPSの動作波形を示す。

3.2　SPSの諸特性と特長

ホト カップラ及びゼロ電圧駆動回路を使用したこのSPSの諸特性は**表2**に示すとおりであり，次の特長をもつ。

(1)　微小直流信号により交流電力を導通，しゃ断できる。トランジスタ トランジスタ ロジック(TTL)などの半導体集積回路で直接駆動できる。

(2)　無接点リレーであるので，アーク発生せず，機械的振動に強く長寿命である。

(3)　入・出力間の電気絶縁が良好である。

(4)　交流電源がゼロ電圧近傍のときのみ，リレーの導通，しゃ断状態が反転するので，その際に発生する電気ノイズは非常に小さく，いわゆる放送周波障害もない。

(5)　出力端から入力端へのフィードバックがないので，SPSを駆動する回路(例えば，TTL)にノイズなどの影響が及ばない。

従来の電磁式リレーに比べて上述した(2)，(5)の項目が特に優れており，また，FLS単体で交流制御する場合に対して，(3)，(4)の項目の利点がある。それゆえ，電気ノイズをきらう制御系において，SPSはこれらの特長を遺憾なく発揮できる。

SPSの入・出力間耐電圧，絶縁抵抗，入力電流などは使用するホト カップラの特性で決定される。それゆえ，耐電圧が高く，且つ点弧感度の優れたホト カップラが必要である。

3.3　SPSの応用

従来の電磁式リレーが使用されている分野では，SPSが有用であり，今後，SPSの占める割合は急速に増加するものと予想される。例えば，電熱器・電球・電動機の運転及び停止の制御に利用できる。また，ロジックと組み合わせての応用が盛んになる。例えば，自動販売機やコイン両替機などに使用される。

4　結　　言

光結合交流制御半導体スイッチとして，発光ダイオードの光により直接駆動する方式の大容量光FLSと，FLSの駆動回路にホト カップラを用いて入・出力間の電気絶縁を図ったSPSとについて述べた。光FLSは光駆動方式の特長をフルに活用して，従来のFLSの転流時の誤動作の問題を解決し，大容量化を達成したものであり，今後この種の光応用素子の発展が期待される。また，SPSは無接点，低ノイズ，長寿命の利点があり，従来の電磁式リレーに代わって広く利用されるであろう。

論文抄録

印刷配線板

日立製作所　田村秋雄

電気学会雑誌　93—12，1125（昭48-12）

印刷配線板は，電子機器のトランジスタ化に伴って急速に発達した技術であって，IC-LSI化時代の現在において，ますますその重要性を増しつつある。本文は印刷配線板の種類，製造法，材料，特性及び設計上の注意点などについての概説である。

現在，最も普通に用いられている印刷配線板は片面印刷配線板，両面印刷配線板及び多層印刷配線板に大別され，用途によって要求される実装密度，配線密度，電気的特性などにより使い分けられている。多層印刷配線板は3次元の配線手段として片面及び両面印刷配線板に比べ著しく配線密度を高めることができ，また，回路インピーダンスを一定の値に制御したり，接地層，電源層などをそう入できるなどの利点を有しており，電子計算機や通信機などに主として用いられている。特殊なものとして平面回路印刷配線板，フレキシブル印刷配線板，金属心入り印刷配線板などがある。

印刷配線パターンの形成は，銅張積層板法あるいはエッチング法と，アディティブ法又は無電解めっき法とに大別される。

現在のところ高精度，高信頼度を必要とするものには，主として銅張積層板法が使用され，量産品で経済性を重視する分野でアディティブ法が使用される傾向にある。

材料としては，ガラス布基材エポキシ樹脂銅張積層板，紙基材エポキシ樹脂銅張積層板，紙基材フェノール樹脂銅張積層板及び合成繊維布基材エポキシ樹脂銅張積層板が一般に使用されている。近時，フレキシブル印刷配線板が各方面に導入されつつあり，今後更に適用範囲が拡大されよう。

印刷配線板の機械的特性の一例として配線導体の引きはがし強さ，片面ランドの引張り強さ及びスルーホールめっきランドの引張り強さを，また，電気的特性の一例として導体幅，導体面積，許容電流と温度上昇の関係，環境試験における回路間の抵抗値の変化及び配線導体のインピーダンス特性などを紹介している。

印刷配線板の設計は，通常，基本格子と呼ばれる直角格子を仮想し，これに部品取付穴，導体パターンなどが配置される。

電子機器の発達に伴い論理素子（ＩＣなど）を多数搭載する場合，複雑且つ高密度の印刷配線パターンがしばしば要求される。

このような場合，限られたスペースに多数の配線を収容すること，信号の伝搬遅延時間，配線間の誘導防止上の制限などの点から，電子計算機を用いてパターンを発生させることが行なわれている。すなわち，論理図，論理素子，実装位置，配線制限条件などを入力して，印刷配線パターンを自動作図させるものである。この際，数値制御パターン原画作成機，穴あけ機など自動機械の制御用テープが同時に出力されるのが普通である。

電子機器の発展とともに印刷配線板技術もまた著しく高度化されつつあり，その適用範囲，生産量とも今後ますます発展する傾向にある。

論文抄録

LSI製作技術の最近の進歩

日本電気株式会社　中沼　尚，日立製作所　永田　穣・徳山　巍，他1名

電子通信学会誌　57－7，783（昭49-7）

ＬＳＩは集積規模の増大とともに経済的に極めて大きなインパクトを示し，電子式卓上計算機(以下，電卓と略す)半導体メモリ，マイクロ コンピュータなどの製品分野を次々に開拓し，急速に発展を続けている。開発記録品の集積度としては年2倍の割合で増加し，この傾向はまだ4～5年は続くものと見られている。その集積度限界は，ＭＯＳ素子にして10^7～10^8個/cm^2で，現在のそれの約3けた上である。

このように集積能力が高まると，ＬＳＩの成否はシステム設計によるといっても過言ではなく，またＬＳＩ技術としても一つの転機にさしかかっているものといえる。「幾つのゲートを集積化したか」から「幾つの機能を集積化したか」が今後の技術の方向であろう。ここでは最近のＬＳＩ製作技術を，(1)デバイス技術　(2)微細加工技術　(3)表面安定化技術の三つに分けて紹介する。

(1)　デバイス技術

これは大別して，ＭＯＳとバイポーラとがある。前者は，シリコンゲート構造，イオン打込法，局所酸化法(LOCOS)などの技術向上に伴い，高集積密度化の進歩が著しい。従来の電卓用P-MOSに加えて，メモリ用には高速のN-MOSが，マイクロコンピュータ用には高集積低消費電力のED-MOSが，電子時計や電装用には超低消費電力高耐雑音のC-MOSなどがそれぞれ用途別に開発されている。バイポーラでは，標準の埋込みコレクタ(ＳＢＣ)法に加え，超高速を目的としたアイソプレーナII法やショットキーＴＴＬなどが代表的であるが，最近，超高集積密度低消費電力の集積注入論理回路(ＩＩＬ)が注目され始めている。また，電荷移送素子(ＣＣＤ)や不揮発メモリなど形態の変わったデバイスの集積化の動きもある。

(2)　微細加工技術

これらのデバイスの製造を担う加工技術としては，浅い拡散，イオン打込み，ドープドSiO_2などの各種不純物源の改良と局所酸化法の進歩などにより，素子の特性向上と高密度化が達成できるようになった。素子パターンの形成に対しては，従来のホトレジ技術の向上に加えて，投影露光法，電子ビーム露光法の開発も一段と進み，1 μm程度の微細パターンも実用化されつつある。エッチングに関しては，公害防止の観点から，最近CF_4ガス プラズマ エッチング法が注目されている。素子間の配線技術も従来のAl配線のほか，多結晶シリコン，Al化成法などが実用化され，多層配線としても役立っている。更に微細配線法としては，リフトオフ法も研究されている。これらのプロセス技術はそれぞれ間に密接な関係があり，また工程中の塵埃，汚染などの環境制御も重要な要素である。

(3)　表面安定化技術

素子の表面安定化技術として，パシベーションの目的にはSiO_2を基本とする多層膜が多いが，有機レジン材料も有望視されている。熱酸化膜については，酸化ふんい気中にHClを添加することによるNaイオンの減少化が図られることが多い。