

武蔵工業大学  
東京大学工学部

吉岡靖夫  
長谷川賢一 持木幸一

### 1 はじめに

著者らはX線応力測定を速やかに行う目的で、位置検出型比例計数管 (POSITION-SENSITIVE PROPORTIONAL COUNTER, PSPC) による応力測定法の研究に約5年前に着手し、多くの成果を挙げた。この方式の最大の利点は測定所要時間が、従来の0次元検出器とゴニオメータを用いた方式に比べて $1/10$ 乃至 $1/30$ 程度に短縮できることである。したがって、X線フラクトグラフィや三軸応力解析のように測定点が多く必要な研究に、きわめて有利である。また、たとえば疲労き裂先端のごく限定された場所の残留応力を測定したい時などはX線回折強度が弱いため従来の計数管法では測定が不可能で写真法に頼らねばならなかったが、PSPC方式では簡単にかつ高精度で測定が行えるので、X線応力測定の新分野への適用も可能である。

一方、PSPC方式の問題点であるが、特に応力測定ではブラッグ角の変化を $1/100^\circ$ 程度の精度で測定する必要があるため、チャンネルドリフトを可能な限り小さくしなければならぬ。しかし、原理上から全く零にすることは不可能で、特に精度を要求される測定対象では無視できない。また、応力測定は背面反射法でしかも精度上から $2\theta$ が $180^\circ$ に近い回折面であることが要求されるため、種々の寸法的制約をうけることである。さらに精度との関連で装置全体を極端に小型化することにも限界がある。

ところで最近の光計測における検出器(センサ)の進歩は目ざましく、各種の秀れたセンサが開発されている。フォトダイオードもその一つであるが、多数の小さなフォトダイオードを一行に並べたフォトダイオードアレイは、一次元上の光分布を簡単にかつ高い位置分解能で知ることが可能なため、寸法計測、ファクシミリにおける文字読取りや表面状態検査等に用いられている。このフォトダイオードアレイの最も進歩した形式は、電子スイッチを内蔵した自己走査型フォトダイオードアレイ (SELF SCANNING PHOTODIODE ARRAY, SSPA) であろう。

このSSPAをX線用センサとして使うことが、特にEXAFSや小角散乱の分野で試みられ始めている。SSPAの特長は、位置分解能が個々のフォトダイオードの大きさで決まるため、 $25\mu\text{m}$ 程度とPSPCよりはるかに小さいこと、ドリフトが原理的にないこと、さらに寸法が小さいこと等である。したがって、この素子をX線応力測定に使用すれば、前記のPSPCでの問題点が解消される可能性が多い。

しかしながら、現在のSSPAをX線用センサとして用いる場合の最大の難点は、放射線損傷を起し、暗電流が増加して使用不可能になることであり、この点の克服が応力測定への適用の鍵である。

そこで、この問題の検討を実験的に行った。具体的には、細幅のスリットを通してX線

を SSPA に入射する方法により損傷劣化の程度を調べた。

### 2 自己走査型フォトダイオードアレイの概要と検出器回路

SSPA はシリコンの単一基板上にフォトダイオードアレイと MOS シフトレジスタからなる走査回路を集積したものである。

Fig.1 はその回路ブロック図である。フォトダイオード 1 個にアドレススイッチ 1 個とシフトレジスタ 1 段が対応して、MOS イメージセンサの 1 ビットを構成している。光子が入るとフォトダイオードで光電変換され、その信号は電荷蓄積部でアナログ量として一時記憶される。この蓄積電荷量は各ダイオードに入力された光学情報によって異なる。これが次のシフトレジスタで時系列信号となって出力される。すなわちシフトレジスタはスタートパルスとクロックパルスによって決められた走査パルス列を発生させ各アドレススイッチを順次オン状態にする。その結果、電荷蓄積モードで動作するフォトダイオードからのビデオ信号が同一出力線に順次取出される。

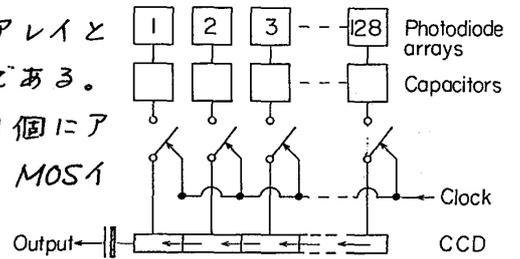


Fig. 1 SSPAの回路ブロック図

次に Fig.2 にこの SSPA のドライヴ回路ブロック図を示す。前述の時系列信号は ADC でデジタル化されて一時バッファメモリに貯えられる。その後今度は計算機(沖込 800)に転送されディスプレイや各種の処理が行われる。

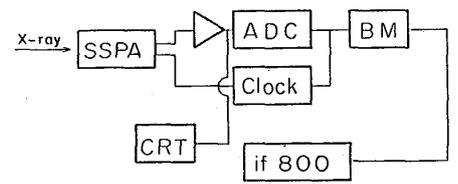


Fig. 2 ドライブ回路ブロック図

さて、光が入射する場合は問題はないが X 線等の放射線が入ると損傷を起こすことが知られている。Fig.3 は今回実験に用いたレティコン社の RL128EC の断面概念図である。感光部は幅  $25\mu\text{m}$ 、アパーチャ高さ  $25\mu\text{m}$  の正方形で、これが一列に 128 個並んでいる。感光部に X 線が入射しても損傷は起きないがその周りのシリコン内に透過力のある X 線が入ると、この膜内の正に帯電したトランブにより損傷が起きるとされている。この通りであれば、このシリコン部に X 線が入らぬようなシールドをほどこせば損傷が防げることになる。

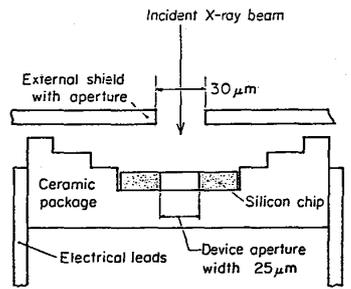


Fig. 3 SSPA断面概念図

本研究では、この考え方に基いて、図中のような感光部アパーチャと同一寸法のスリットを作り、感光部のみ X 線を入射し、シリコン部へ X 線を入れないようにして損傷に関する実験を行った。

### 3 実験方法・装置

用いた SSPA は前述のレティコン RL128EC である。X 線源は理学電気マイクロフレックステで  $1.5\text{mm}$  中のピンホールスリットを通して直接  $\text{CrK}\alpha$  線 ( $5.4\text{keV}$ ) を SSPA に入射した。

SSPA の Si 部の防壁は、Fig. 3 の上部に示すような  $30\mu\text{m}$  の幅のスリット付の銅板によ

つてX線の入射を防いだ。スリットの位置調節はレーザー光によって行った。

#### 4 実験結果

まず、Fig. 4 に均一な白色光を入射した折の出力分布および暗電流分布を示す。両者とも全チャンネルに亘って平坦な分布を示している。暗電流は常温(20°C)での測定でチャンネル当り約 $10^3$ カウント/秒であった。

次にスリットを取外した状態で長手方向約250 $\mu$ m幅のCrX線を入射した場合をFig. 5で説明する。図中X-RAY ON は最初にX線の入射をした場合の出力分布である。なお、初期の暗電流は差引いて表示してある。この状態でX線を照射し続け、まず30分経過したのちX線を切り暗電流の増加を調べたのが、図の一番下の分布である。以後、30分おきにX線を切って暗電流の増加を調べたところ、2時間でX線入射時のほぼ半分の暗電流分布が見られた。この暗電流の増加は永久的なものであり回復不可能である。

今度は、30 $\mu$ mのスリットを通して約1.5mm幅のX線を入射した。Fig. 6はその結果である。照射を9時間続けたのち、X線を入射したまま出力分布を求めたのが図中のX-RAY ONである。分布が一様でないのは、スリット幅が狭いため、その部分の凹凸の影響が現れたものと考ええる。さて、X線を切り暗電流を求めたのがX-RAY OFFであり、損傷による暗電流の増加は全く見られぬ。したがって、この実験より感光部アパーチャと同程度の寸法のスリットを有するX線シールドにより素子劣化を防止することが可能であると考えられる。

#### 5 結言

以上、SSPAをX線検出器として用いるとき問題であった素子劣化をスリット使用により防止できることを示した。ただし、スリットを付けることによりビデオ出力が約1/2に低下し、もともとSSPAが可視光で出力感度が高く、決してX線向きではないことと併せて、固折X線を測定するときは、この出力低下を克服することが問題であろう。この問題の解決法の一つとして、今後はアパーチャ幅の大きい素子で同様の検討を進める予定である。

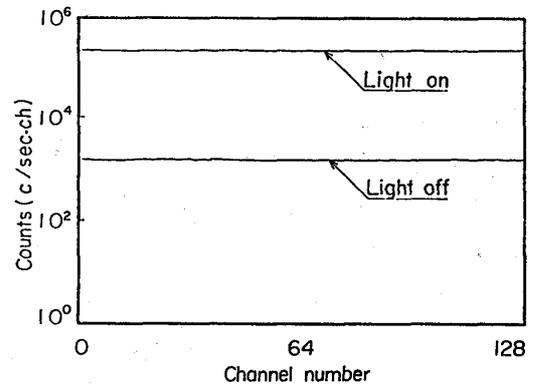


Fig. 4 均一白色光入射時の出力分布

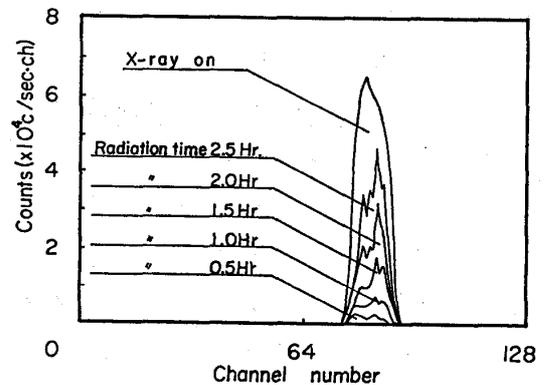


Fig. 5 スリット無しでX線を入射した際の暗電流の増加

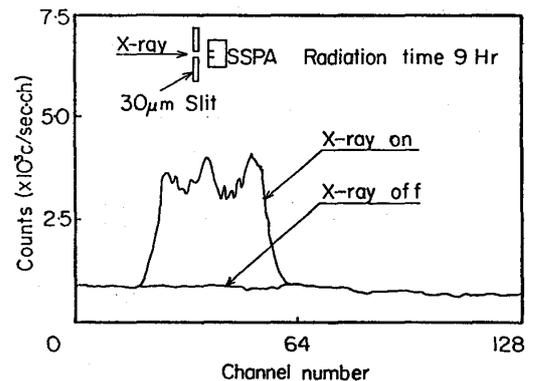


Fig. 6 30 $\mu$ m幅スリットによる損傷防止の効果