

半導体検出器用電子部品の評価

稲葉 基

筑波技術大学 産業技術学部 産業情報学科

キーワード：高エネルギー物理学実験, 半導体検出器, バイアス回路, 高電圧コンデンサ

加速器を用いて基本粒子や重イオンを加速し、その衝突反応を詳しく調べる高エネルギー物理学実験では、厚さ数百マイクロンの半導体センサーを採用した検出器が増えてきている。

比較的大きな検出セルからアナログ信号を読み出すパッド型検出器では、高めのバイアス電圧を印加してp-n接合を完全に空乏化しておく必要がある。長期運用期間中の放射線損傷を考慮し、p型シリコン基盤の検出器では、最大1000Vまでバイアス電圧を印加できるように設計する。アナログ信号は、高電圧コンデンサを使ってバイアス電圧を遮断して読み出すので、信号読み出し電子回路を全減させないためにも、高電圧コンデンサの特性を把握しておくことが求められる。

高電圧コンデンサの放射線耐性試験も重要であるが、本研究では、6メーカーの表面実装型コンデンサから計12種類の候補を選び、電気的特性を測定することを目的とした。サンプル数は1個で、カタログ上の静電容量はいずれも10000pFである。

まず、測定対象のコンデンサをデシケータから取り出し、測定用ピンをはんだ付けをして、RLCメータZM2371で室温での静電容量C[pF]と損失係数Dを測定した。そして、動作温度範囲の温風を当ててCが変化するかどうかを確認した。その後、開発済みの高電圧試験装置を用いて10秒ごとに10ボルトずつ印加電圧を上げていき、絶縁破壊を起こす電圧を調べた。最後に、RLCメータで絶縁破壊後のCとDを測定した。

測定結果は、表1のようになった。一般的に、Cは抵抗の値と比べてバラツキが大きいと言われるが、No.6はカタログ上の許容誤差が小さいこともあり、最も理想的なCを示した。一方、No.1とNo.3の測定値は、カタログ上の許容誤差範囲を超えていた。Dは、0に近ければ近いほど電力損失が少なく、理想的なコンデンサの特性を持っていると言える。今回の測定の中では、No.7とNo.9が特に優れたDを持っていた。温風を当てると、ほとんどのサンプルは、C

が小さくなる方向に変化した。No.9だけは、目立ったCの変化が見られず、カタログ上でも温度特性がCLASS1（温度補償用）に属している。また、カタログ上の定格電圧は、No.3が1500V、No.5が2000V、他が1000Vであり、いずれのサンプルも定格電圧に対して十分に高い電圧まで絶縁破壊を起こさなかった。No.10に関しては、定格電圧のおよそ6.4倍まで耐えた。絶縁破壊を起こすと、基本的にDが大きくなり、さらにCが小さくなるサンプルが多いことが分かった。絶縁破壊時の発光の仕方とCやDの変化の間に相関は見出せなかった。No.2については、Dが大き過ぎて、Cを測定できなかった。絶縁破壊を1回起こした後、再度定格電圧まで印加できたのはNo.6だけであった。これは、No.6が大きな容積を持っていることに関係していると考えられる。他のサンプルは、Cが大きく変化していても、漏れ電流が大きく増えた。仮に、大きな電流を出力できる電源を準備したとしても、漏れ電流によって電気的ノイズが増えることが予想され、アナログ信号読み出しには適さないと考えられる。

結論として、いずれの候補も、開封直後の状態では半導体検出器を1000Vのバイアス電圧で動かすための十分な特性を持っており、低コストで入手可能なNo.4が有利と言える。しかし、何らかの理由で1箇所でも絶縁破壊を起こすと、No.6以外は漏れ電流によって全信号チャンネルを失いかねない。

謝辞

本研究は、2020年度学長のリーダーシップによる教育研究等高度化推進事業A競争的教育研究プロジェクト②産業技術に関する研究に「大面積半導体検出器用前段アナログ信号処理回路の製作」という研究課題名で申請し、採択および申請金額の10%を配分していただき、財務課予算・決算係承認のもと、研究課題名を「半導体検出器用電子部品の評価」に変更して、研究を遂行したものである。

表1 6メーカーの高電圧コンデンサの仕様と測定結果

サンプル	メーカー品番	メーカー品番	定格 電圧 [V]	絶縁破 壊電圧 [V]	許容 誤差	絶縁破壊前		絶縁破壊後		大きさ [mm ²]	高さ [mm]	単価 [円]
						C[pF]	D	C[pF]	D			
No.1	AVX Corporation	1210AC103KAT1A	1000	3870	±10%	11222	+0.0141	8585	+2.4102	3.30 x 2.50	1.80	60
No.2	KEMET	C1210C103KDGACTU	1000	1690	±10%	9904	+0.0006	測定 不可	>4000	3.20 x 2.50	2.80	153
No.3	KEMET	C1206C103KFRACTU	1500	2620	±10%	11252	+0.0199	9370	+18.6783	3.20 x 1.60	1.75	41
No.4	Murata Electronics	GCJ31CR73A103KXJ3L	1000	4180	±10%	10783	+0.0137	6868	+0.5930	3.20 x 1.60	1.80	28
No.5	Murata Electronics	GRM32QR73A103KW01L	1000	5540	±10%	10647	+0.0139	7368	+10.5123	3.20 x 2.50	1.50	104
No.6	Murata Electronics	GRM55D7U3A103JW31L	1000	3870	±5%	10077	+0.0001	10122	+0.0244	5.70 x 5.00	2.20	189
No.7	Murata Electronics	GR455DR73D103KW01L	2000	8910	±10%	10167	+0.0114	6287	+14.698	5.70 x 5.00	2.00	149
No.8	TDK Corporation	C4532JB3A103K200KA	1000	5070	±10%	10625	+0.0128	8839	+0.4853	4.50 x 3.20	2.20	55
No.9	TDK Corporation	CGA6P1C0G3A103J250AC	1000	1810	±5%	10123	+0.0001	10113	+2.7961	3.20 x 2.50	2.80	168
No.10	TDK Corporation	C4532JB3A103M200KA	1000	6420	±20%	10701	+0.0119	8402	+1.3435	4.50 x 3.20	2.20	55
No.11	Vishay Vitramon	VJ1808Y103KXGAT	1000	2360	±10%	10534	+0.0118	10128	+0.1629	4.57 x 2.03	1.70	75
No.12	Würth Elektronik	885342208021	1000	2930	±10%	10998	+0.0186	9596	+0.5877	3.20 x 1.60	1.35	23