

高圧半導体保護用エッチングヒューズの開発 (続) Development of the High Voltage Etching Fuse for Protecting Semiconductors

浅山 三夫^{1*}、石川 雄三¹、広瀬 健吾²、小林 信一³、山納 康³
Mitsuo Asayama, Yuhzoh Ishikawa, Kengo Hirose, Shinichi Kobayashi, Yasushi Yamano,

¹埼玉大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering

²埼玉大学 工学部 産学官連携研究員

Industry-University-Government Cooperation Researcher

³埼玉大学 工学部 電気電子システム工学科

Department of Electrical and Electronic Systems

Abstract

We are continuing to develop high voltage etching fuse for protecting semiconductors. Last year fundamental researches to find etching patterns bringing better current breaking capability were conducted, and successfully completed. This year 7.2kV rating etching fuse was developed based on the results of fundamental researches of last year. It was confirmed that this type of etching fuse has good breaking performance and smaller I^2t value compared with target value were obtained.

Therefore it will be possible to produce a high voltage etching fuse for protecting semiconductors having lower I^2t than those of current products.

Key Words: Fuse, I^2t , Protection of semiconductors

1. 緒言

本研究は、平成16年度共同開発助成事業として東京都より助成金を受け、根本特殊化学株式会社との共同研究により平成16年4月より平成17年12月までの間に実施したものである。平成16年度に実施した成果は「埼玉大学地域共同研究センター紀要」No5に報告されている。^[1]

従って本稿では前年度報告と重複するところがあるが、研究の概要を述べると共に、その後の研究結果について報告する。

2. 研究の目的

近年3kV、6kVなどの高圧インバータの需要が増大するに伴って高圧半導体保護用ヒューズの要求が大きくなってきた。しかしながら現在これらのヒューズは全て輸入品に頼っている状態である。

エッチングヒューズは従来型のヒューズに比べ微細な形状のエレメントを作ることができるので、遮断特性に優れ小さな I^2t の製品ができる。このため既に低圧半導体保護用ヒューズとして多数使用されている。

本研究は、先ず600V定格のヒューズについて特性改善のための基礎的な研究を行い、最適エレメントの形状を決めた後、この結果を基に最終的に7.2kV, 83A(3本並列で250A)定格の高圧半導体保護用ヒューズを設計製作し、現用製品の値より小さい I^2t の値を有するヒューズが得られることの確認をすることである。

3. 平成16年度研究の内容

3.1 600V用ヒューズについての試験

平成15年度に実施した研究結果^[2]から、ヒューズエレメントの遮断部の並列遮断点数を増すことにより、遮断時の限流値及び動作 I^2t の値が小さくなる傾向にあることが分かったが、平成16年度の研究では、(1)並列遮断点数Pを5個から16個まで変えた試作品を作り、遮断特性の比較を行った結果、Pの増加と共に遮

* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保2 5 5

電話：048-858-3883 FAX：048-858-3883

Email：asayama@epower.ees.saitama-u.ac.jp

断時の限流値が下がり、 I^2t の値も小さくなることが分かった。

(2) 直列遮断点数 S を 5 から 6 に増やしたエレメント (K 型)、及び遮断時のアークの伸張を高め遮断特性を改善するため、遮断部のスリット長さを長くしたエレメント (L 型) についての遮断特性の比較を行った。その結果、(1) で試験した型より限流値、 I^2t が小さくなること、及び L 型に比べて K 型の方がより改善されることが分かった。

3.2 高圧回路における試験

上記の試験結果を基に、600V 用のエレメントを直列に接続して、3.6kV 及び 6kV 定格に相当するヒューズを試作し、遮断試験を行い特性の確認を行った。

その結果、600V 用エレメントを 5 個直列に接続した 3.6kV 用ヒューズ、及び 600V 用エレメントを 8 個直列に接続した 6kV 相当のヒューズとも、固有電流 90kA の遮断が可能であり、 I^2t は 7.2kV、80A 相当のヒューズに換算すると 12,000A²s 程度になることが確認された。

4. 本年度に実施した 7.2kV 用ヒューズの試作、試験

4.1 設計値

前年度に報告した種々の試験結果から、7.2kV 用ヒューズのエレメントは次に示すような構成のものとした。

①長さ及び直列遮断点数

標準的な長さである 300mm の筒に組み込むため、エレメントの全長は 280mm とする。

直列遮断点数 S は遮断性能上、600V 用に対して $7,200 / 600 = 12$ 倍を目安とするが、全長 280mm の場合に最大可能な直列遮断点数は、3.1 (2) に示す K 型では 79 なので 79S とした。一方、3.1 (2) に示す L 型のように遮断部の長さを長くしたものでは、遮断部の間隔を長くせざるを得ないので 69S とした。

②幅及び枚数

筒の構造から、エレメントの幅は 24mm、セラミックベースの幅は 27mm とする。

エレメントの並列遮断点数 P は、遮断性能上は多くした方が 600V 回路の試験では、良い結果が得られているが、製造上安定した品質が得られることなどの条件を考慮する必要があり 30P とした。79S30P のエレメントの外形を Fig. 1 に示す。その詳細は Fig. 2 に示すように、遮断部は薄く放熱部が厚い立体型構造のエレメントである。

定格電流通電時の温度上昇を規定値内に抑えるため、エレメントは 2 枚並列接続にして長さ 300mm の筒に入れ、

60~80 メッシュの消弧砂を充填した後、シリコン溶液を注入し、ヒューズリンクとして完成させた。

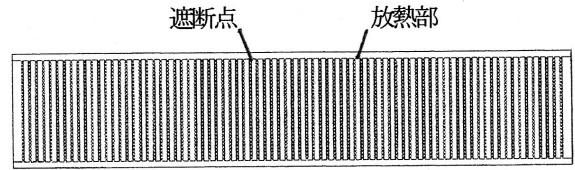


Fig. 1 7.2kV 用ヒューズエレメントの外形

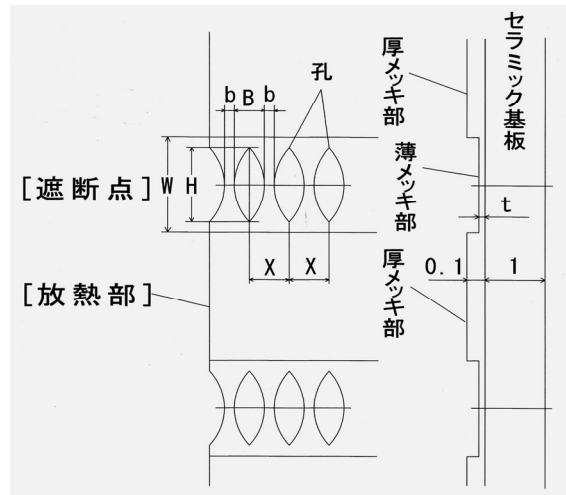


Fig. 2 ヒューズエレメントの詳細

4.2 遮断特性

(1) 試験方法

遮断試験は、Fig. 3 に示す回路の LC 遮断試験装置を用い、 L によってステップアップし、7.2kV を発生して行った。短絡時の固有電流は 40kA RMS 相当とした。

遮断時の電流、電圧波形はデジタルオシロスコープで記録した後、パソコン処理により限流値、動作過電圧、遮断時間、 I^2t 等の値を求めた。

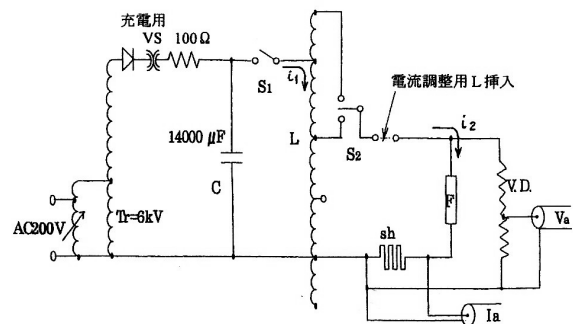


Fig. 3 LC 遮断試験回路

(2) 試験結果

予備的な試験を含めると数多くの遮断試験を行ったが、代表的な試験結果を Table 1 に、またその中の代表的遮断オシログラムの一例を Fig. 4 に示す。

また、遮断後のエレメントの状態を Fig. 5 に示す。

Table 1 遮断試験一覧表

試料	A	B
設計値	79S × 2	69S × 2
抵抗値 (mΩ)	5.94	7.23
試験電圧RMS(V)	7,200	7,200
短絡電流RMS(A)	41,500	41,300
動作過電圧(V)	11,116	11,503
限流値(A)	5,106	5,025
溶断I ² t(A ² s)	1,736	1,575
動作I ² t(A ² s)	18,296	17,119
溶断時間 (ms)	0.242	0.232
動作時間 (ms)	1.864	1.916
推定定格電流 (A)	99	88
83A換算I ² t(A ² s)	12,854	15,226

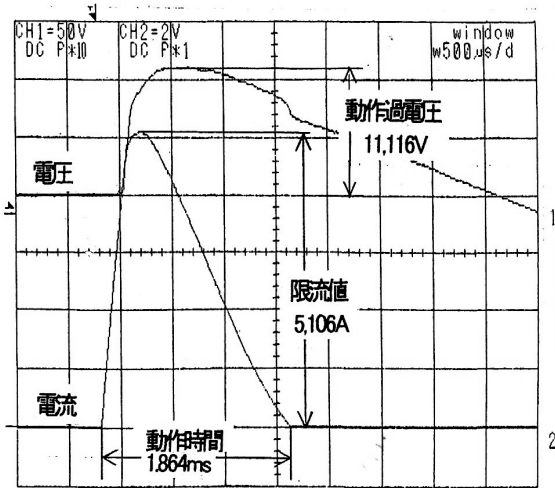


Fig. 4 72 kV 回路の遮断オシログラム

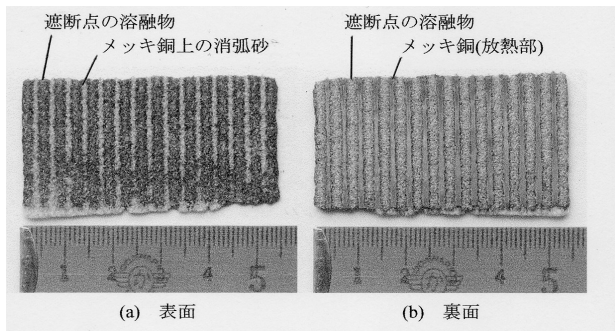


Fig. 5 遮断後のエレメント図

Fig. 5 の (a)はエレメントの表面で、(b)はエレメントをセラミック基板から剥がして裏面から見た図である。この図からエレメントの溶断は遮断点の近傍に限られ、放熱部の銅メッキ箇所は残っており、正常な遮断が行われたことが分かった。

Fig. 4 のオシログラム及び Table 1 から、5. に述べるように優れた遮断特性と、目標とする I²t の値が得られた。

4.3 温度特性

抵抗値が 8.66mΩ のヒューズ(1)と、7.00mΩ のヒューズ(2)をそれぞれホルダに取り付け、(1) には 75A, (2) には 90A の直流電流を連続通電し、ヒューズ筒、端子の温度上昇を測定した。また同時にヒューズの両端子間の電圧降下を測定した。

温度が飽和状態に達した時の各部の温度上昇値、及び電圧降下の値 Table 2 に示す。

Table 2 温度試験結果

試料	1	2	
抵抗値 (mΩ)	8.66	7.00	
通電電流 (A)	75	90	
通電時間 (H)	1.5	1.5	
温度上昇 (°C)	筒	69	95
	端子 [+]	42	43
	端子 [-]	44	43
端子間電圧降下の倍数	1.65	1.65	

*周囲温度: 21°C

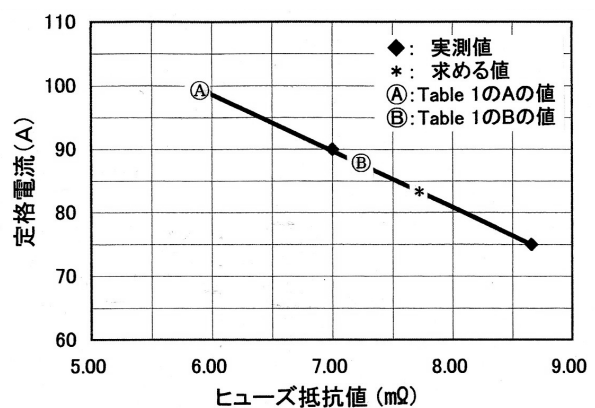


Fig. 6 抵抗値抵抗値と定格電流の関係

半導体保護用ヒューズについての規格(JEM1383)で規定されている温度上昇限度は、筒が碍子製の場合には制限がなく、また端子部は 65°C となっているので、試験結果では規定値よりかなり低く余裕がある。しかし、端子

間電圧降下が常温時の電圧降下の値（(1)の場合は $8.66\text{m}\Omega \times 75\text{A} = 650\text{mV}$ ）の1.6倍を超えたので表の値を限度とした。常温時の電圧降下値の1.6倍を超えることは、エレメントの温度が 200°C 近くになって抵抗値が増加したためであり、酸化し易くなると判断されるからである。

2本の温度試験結果から、ヒューズリンクの抵抗値が高くなると定格電流は下がることが明かとなり、抵抗値と定格電流の関係はFig. 6に示すような直線になると考えられる。従って、Table 1のヒューズAは抵抗値が $5.94\text{m}\Omega$ なので、Fig. 6の直線から定格電流は99Aと推定され、ヒューズBは抵抗値が $7.23\text{m}\Omega$ なので定格電流は88Aと推定される。

また83A定格のヒューズリンクの値は、Fig. 6から $7.7\text{m}\Omega$ 以下に抑える必要があると判断される。

5. 試験結果の検討

7.2kV回路における遮断試験の結果、Fig. 4の遮断電流波形に示すように再点弧現象も見られず、十分な遮断容量を持っていること、またFig. 4の電圧波形から大きな過電圧の発生もないことが確認された。

ヒューズA、ヒューズBに対する遮断オシログラムから得た動作 I^2t の実測値は、Table 1に示したように $17,100 \sim 18,300\text{A}^2\text{s}$ となっている。これらのヒューズリンクの推定定格電流はそれぞれ99A、88Aである。

I^2t の値は、定格電流値が大きくなると増大し、電流の二乗に比例して大きくなるという結果が600V回路では得られている。

7.2kVでの試験結果が少ないので推定ではあるが、試験したヒューズの抵抗値と温度試験結果から求めた推定定格電流と、83Aに換算した I^2t の値を追記したものが、Table 1の最下欄である。

設計時における I^2t の値の目標値は、現在主に使用されているメーカーのカタログ値（250A定格で $160,000\text{A}^2\text{s}$ 、83Aに換算すると $17,800\text{A}^2\text{s}$ ）より小さい $15,000\text{A}^2\text{s}$ としたが、Table 1に示す試料Aの I^2t の値は目標値よりも小さく、現用品の約70%の値となっているので、目標が達せられたと考える。

6. 結論

上述のように、7.2kV、83A定格の高圧半導体保護用エッチングヒューズの研究開発を進めた結果、十分な遮断

性能を持ち、動作 I^2t の値も目標値に近い値が得られる見通しがついた。

今後は、細部の構造についてさらに改良と、品質の安定確保の検討が必要と考えられる。

7. 参考文献

[1] 浅山三夫、広瀬健吾、山納康、石川雄三、小林信一、「高圧半導体保護用エッチングヒューズの開発」、2004年度埼玉大学地域共同研究センター紀要、第5号、pp53～59

[2] 松岡清継、小林信一、山納康、広瀬健吾、「半導体保護用エッチングヒューズエレメントの最適パターンの研究」、平成15年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.243