

氏 名 Serguei Kazakov

学位（専攻分野） 博士(学術)

学位記番号 総研大乙第112号

学位授与の日付 平成15年3月24日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 Development of New Types of High Power RF Windows

論文審査委員 主 査 教授 高田 耕治  
教授 野口 修一  
助教授 陳 榮浩  
主任研究員 山崎 良成（日本原子力研究所）

## 論文内容の要旨

論文題目:Development of New Types of High Power RF Windows

The design and results of cold and high power measurements of several new types of windows are described in this thesis. All windows are based on the principle of traveling wave in the ceramic region. This approach allows reducing drastically the strength of electric field in the ceramic region and increasing the maximum power that can be transmitted through a window without breakdown.

A S-band traveling-wave window at 2856 MHz was design and tested. The high power testing results showed that more than 450 MW power with  $2\mu\text{s}$  pulse length at 50pps repetition rate was transmitted through the window without destruction.

A X-band mixed-mode window with low electric field at the ceramic-metal brazing area was designed, and several of them were manufactured and are being used in PPM klystrons for a linear collider. Those windows are compact, though being wideband and powerful. The transmission of more than 80 MW power was achieved with  $1.5\mu\text{s}$  pulse length at 30pps repetition rate.

A X-band  $\text{TE}_{01}$ - $\text{TE}_{02}$  window was also designed. This window has low electric field on the ceramic and no electric field at the ceramic-metal brazing area to be more robust for high power transmission. The window has a simple shape, and it is compact and wideband. A low power model was manufactured and measured. This window has two new types of simple  $\text{TE}_{10}$ - $\text{TE}_{01}$  mode converters on both sides. The design and the performance measurements of those converters are also described.

## 論文の審査結果の要旨

Sergey Kazakov 氏の博士論文は、TeV 領域の電子・陽電子リニアコライダーで重要な大電力 X バンドクライストロンのマイクロ波出力窓の設計、開発、実用化研究についてまとめたものである。出力窓は、高周波を出力する全ての電子管に組込まれ、その寿命を左右する部品である。高純度アルミナ板で管の高真空を保ちつつ、高周波電力は円滑に透過させるのがその基本構造である。しかし、大電力高周波を扱う管球では、大振幅高周波電場による放電や温度上昇によるアルミナ（通常直径数十mmの円板）の破損をいかに防ぐかが常に大問題である。とくに上のリニアコライダーの場合、ピーク出力 75 MW の X バンド（波長 26mm）クライストロンを 3000 本以上使用するので、加速器全体の安定な運転にとって、丈夫な出力窓を開発することは大変重要な課題である。

申請者は KEK（高エネルギー加速器研究機構）、BINP（ロシア原子核研究所プロトビノ支所）、SLAC（スタンフォード線形加速器センター）で開発されてきた種々の X バンド大電力窓に長年にわたりかかわり、改良を重ねてきた。この研究において申請者の独創になる業績の中心は、

- (i) アルミナ円板の直径を大きくして電場を下げるだけでは不十分であること、
- (ii) アルミナ板に励起される電磁場を進行波モードにすること、
- (iii) 導波管に鑢付けされる円板縁辺部で電場が 0 になることが肝要であるとし、特に TE11 モードと TM11 モードの混合場の解を見つけ、その条件を満足させたこと、
- (iv) アルミナ円板を含む局所領域に誘起される、いわゆる spurious な共振モード群を運転周波数から十分分離すること、という基本原則に立って、組織的に大電力窓を開発してきたことである。

先ず、綿密な理論解析に基づく数値計算と、大電力電子管技術を活用した設計を行った。次いで、実績が積まれた S バンド（波長 105mm）において大電力モデルを作成、試験し、満足な結果を得た。最後に X バンドの窓を製作し、KEK および SLAC で大電力試験を行って、パルス幅 0.5 micro-sec では 100 MW、1.5 micro-sec では 85 MW に耐えるものを完成させた。これは TeV リニアコライダーの仕様を十分に満たす世界最高水準の性能をもつものである。

しかし申請者は更なる信頼性を達成するために、円板縁辺部での電場の解が本来的に 0 となる TE0 モードで動作する窓を新たに設計、開発した。SLAC ではすでに TE01 モードのみの窓が使われているが、申請者の設計はこれと異なり、TE02 モードも含む混合場を採用した。その結果、電磁場の分布や透過の特性が大幅に改善された。なお TE0 モード型では、導波管での TE1 モード電磁場を窓での TE0 モード電磁場へとその対称性を変換しなければならない。そのために、申請者は電磁場分布への独創的な考察をもとに、コンパクトな変換用導波管素子を設計し、実用化した。現在、低電力レベルでのマイクロ波特性試験ではシミュレーションで予期された結果が得られている。

申請者がこの論文においてまとめた一連の研究は、TeV 領域の電子・陽電子リニアコライダーの建設へ踏み出すための貴重な一里塚となるものである。加速器用大電力クライストロンに関し半世紀以上の伝統を有し、多数の専門家を擁する SLAC においても極めて高く評価されている。審査委員会では、申請者の世界最高性能を持つマイクロ波出力窓を開発するとともに、今後の出力窓の電磁場設計の方針を確立したこの仕事について、全員一致で学位授与に相応しいと判定した。