

氏 名	み た なが ひさ 三 田 長 久
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3018 号
学位授与の日付	平 成 7 年 7 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	衛 星 通 信 用 進 行 波 管 の 高 性 能 化 と 長 寿 命 ・ 高 信 頼 化 に 関 す る 研 究

(主 査)
論 文 調 査 委 員 教 授 石 川 順 三 教 授 佐 々 木 昭 夫 教 授 木 村 磐 根

論 文 内 容 の 要 旨

準ミリ波帯の衛星通信においてはその広帯域、高出力・高効率性能から広く進行波管が使われている。この進行波管では高温に加熱されている熱陰極から電子ビームを取り出しており、この陰極の寿命により進行波管の寿命が決定されている。本論文では最も長寿命が得られる熱陰極として表面被覆含浸形陰極を選択し、この劣化要因を解明した。この結果、陰極温度と寿命の関係を定式化して寿命が最も長くなる最適陰極動作温度の存在を明らかにし、陰極電流密度と寿命の関係を明確にした。更に、これらの陰極劣化理論を応用して長寿命・高信頼度の衛星搭載用進行波管、高性能な衛星地上局用進行波管を実現した結果を述べたものである。

第1章では進行波管における陰極の位置づけ、陰極劣化に関する従来の研究、本研究の目的と推移を述べた後、本論文の概要を述べている。

第2章では含浸形陰極の概略と長寿命陰極品種の選択について述べている。また、この品種選択等のため、含浸形陰極を進行波管に組み込んだ場合と同条件で経済的に寿命試験ができる2極管の設計とその効果についても述べている。更に表面被覆含浸形陰極の劣化要因について検討し、表面被覆の劣化と含浸材の消耗の2種の劣化要因の存在を示している。

第3章では表面被覆含浸形陰極の寿命要因の一つである表面被覆の劣化について述べている。表面被覆中を陰極基板金属のタングステンが拡散することによって劣化するが、改良した境界条件を用いて拡散方程式を解いた結果、実測値と良い一致を得、この結果から表面被覆が劣化を開始する時間の温度依存性を求めている。

第4章では含浸形陰極の主たる寿命要因である含浸材の消耗について述べている。劣化した陰極の断面分析結果から含浸材と基板の反応により遊離バリウムが生じることを示している。また、バリウム蒸発速度とバリウム表面被覆率の実測結果から含浸材の消耗は遊離バリウムがタングステン基板中の細孔を通過するKnudsen流により律速されており、表面バリウム濃度の低下に伴って仕事関数が増加し、温度制限領域電流が低下していくことを示している。更に温度制限領域電流の低下を精度よく測定できる物理量で

ある、陰極電流が空間電荷制限領域電流の90%になる陰極温度 T_{90} の経時変化を実測している。この実測値は仕事関数の増加から導いた理論計算結果とよく一致し、 T_{90} の初期値からの変化量を時間に対して両対数図に示すと傾斜が約0.6の直線で近似できることを明らかにしている。この直線を用いて寿命推定が可能であり、これは含浸材の配合比や表面被覆が異なる場合、陰極電流密度を変えた場合にも成り立つことを明らかにしている。これらの結果から、陰極温度と寿命の関係を定式化し、寿命が最も長くなる最適動作温度の存在を明らかにした。

第5章では第3、4章の結果を用いて表面被覆含浸形陰極の2種の寿命要因を定量的に比較している。含浸材の消耗による寿命に対して求めた最適動作温度は使用する陰極電流密度に対して一義的に定まり、これから陰極電流密度と寿命の関係を求めている。表面被覆の劣化はかなり高温でないと生ぜず、 42 A/cm^2 以下の電流密度で使用する場合には寿命は含浸材の消耗で決まることを明らかにした。

第6章では陰極電流密度を低く設定して長寿命・高信頼度を達成した20 GHz 帯衛星搭載用進行波管の開発結果について述べ、更に、含浸形陰極劣化理論の進行波管高信頼化への応用について述べている。最長寿命陰極品種の選択、陰極電流密度と電子ビーム集束比の最適化、陰極の最適動作温度設定により長寿命化し、更に T_{90} の初期値および T_{90} の経時変化による選別を行って高信頼化した。また、加速試験による寿命分布の予測を行い、これらの高信頼化技術を用いて製造した通信衛星3号搭載用進行波管の衛星軌道上データによる信頼度の推定を行い、長寿命・高信頼性能の実証を行った。次に、このように高信頼化した進行波管と固体電力増幅器との比較を行い、出力4 W 以上では進行波管が有利であることを明らかにした。

第7章では地上局用進行波管の高性能化について述べている。まず、中程度の電流密度での設計として14 GHz 帯の超低消費電力進行波管について述べている。多段コレクタの消費電力推定方法を提案し、それに基づいて従来の1/7という大幅な低消費電力化ができることを示した。また、電流密度を中程度にまで高めビーム集束比を小さくすることができたためビーム透過調整が容易となり、価格削減にも寄与している。次に高電流密度での設計として30 GHz 帯出力100 W というヘリックス形進行波管の限界性能を達成した結果を述べている。系統的に許容できる50,000時間以上の寿命が得られる限界設計により、このような高性能の進行波管を実現することができた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、表面被覆含浸形陰極の劣化要因を解明し、その劣化理論を応用して長寿命・高信頼度の衛星搭載用進行波管、高性能な衛星地上局用進行波管を実現し、その原理、理論・実験による解析、具体的な設計手法について論じたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 最も長寿命が得られる進行波管用の陰極が表面被覆含浸形陰極であること、また、その陰極の劣化要因が「表面被覆の劣化」と「含浸材の劣化」の2種であることを明らかにした。さらに、それぞれの劣化要因を解明して温度と寿命の関係を定式化した。
2. 2種の寿命要因を定量的に比較し、通常使用する 42 A/cm^2 以下の電流密度では含浸材の消耗で寿命が決まることを示した。この含浸材の消耗による寿命については寿命推定方法を確立し、最も寿命が長く

なる最適動作温度の存在を明らかにするとともに、陰極電流密度と寿命の関係を定式化した。更に、陰極温度を最適動作温度より高くした場合の温度加速条件と加速率を明確にし、実施した加速試験により寿命推定方法を実証した。

3. 上記の陰極劣化理論を応用して、低電流密度にて長寿命・高信頼化した20 GHz帯衛星搭載用進行波管を実現した。この進行波管は加速試験と衛星軌道上の実績データを用いて使用予定期間中に所要の高信頼度が得られることを実証した。

4. 衛星地上局用として中程度の電流密度にて経済化をはかった14 GHz帯の超低消費電力進行波管を実現し、更に高電流密度にて高出力化した30 GHz帯100 W出力の広帯域進行波管を実現した。

以上、要するに本論文は、長寿命・高信頼・高性能の通信用進行波管の実現により高信頼度・大伝送容量の衛星通信方式開発への道を開くものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成7年6月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。