# 平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「窒素ガス流体螺旋形状加熱装置を用いたFELの 工業的大量生産技術の開発」

研究開発成果等報告書

# 平成 26 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人本庄早稲田国際リサーチパーク

# 目次

第1章	研究開発の概要	1
1-1.	研究開発の背景・研究目的と目標	1
1-2.	研究体制	2
1-3.	成果概要	5
1-4.	当該研究開発の連絡窓	5
第2章	本論	6
2-1.	FEL とは	6
2-2.	エミッターの製法	6
2-3.	エミッター焼成用の加熱炉	7
2-4.	本プロジェクトの目標と成果	9
最終章	全体総括	20

## 第1章 研究開発の概要

#### 1-1. 研究開発の背景・研究目的と目標

#### (1)研究開発の背景

自動車のヘッドライト光源は HID ランプが主流である。HID ランプは発光体に水銀を利用している。このため発光管が破損した場合や解体する際に水銀が拡散するといった、環境汚染の可能性があった。代替材料を利用した水銀フリーのものに置き換わりつつある。とはいえ、環境配慮の観点から、川下製造業者の自動車メーカーは水銀フリーで、より低消費電力のヘッドライト光源の実用化を渇望している。

FEL(フィールドエミッションランプ)は水銀を使わず、放出係数の低い薄膜の電子放出源を持ち、HID ランプに比べ高輝度で高効率の光源として期待されている。しかし、FEL の電子放出源のエミッター薄膜生成工程に利用されている現在の加熱炉は構造に問題があり、歩留りが極めて悪い。因みに、エミッター薄膜生成工程は金属などの表面にナノダイヤモンド粉末を塗布し、加熱炉内で材料表面温度を 300℃前後に一定時間維持して焼結して、ナノダイヤモンド薄膜を成膜する。これまでの加熱炉は電気ヒーターで炉を昇温し、放射熱で直接加熱する。そのため、光が当たる部分とシャドー部分が発生する。炉内の温度分布のバラツキが大きく、多量のエミッター薄膜を均一に加熱し、一定に温度を維持できない。また、バインダーなどから発生する不純物ガスにより、加熱雰囲気が汚染され、ナノダイヤモンド膜表面の曇り、歪といった不具合が発生する。これらの問題は従来型加熱炉がヒーターと炉が一体化され、直接加熱する構造的要因から発生している。この問題を解決するには間接加熱が可能な構造を備えた加熱炉の開発が不可欠であった。この研究開発は従来の加熱炉とは異なる構造を持つ装置を開発し、FELを実用化に相応しいコストでの大量生産を可能にする技術の確立を目指す。

#### (2)研究の目的と目標

この研究開発の目的は、自動車向け次世代型ヘッドライト光源として注目されている FEL (フィールドエミッションランプ) のエミッター薄膜の工業的大量生産技術の確立で ある。この技術の確立により、FEL のエミッター薄膜生成時の歩留まりを改善し、FEL の低価格化及び安定供給を可能にする。

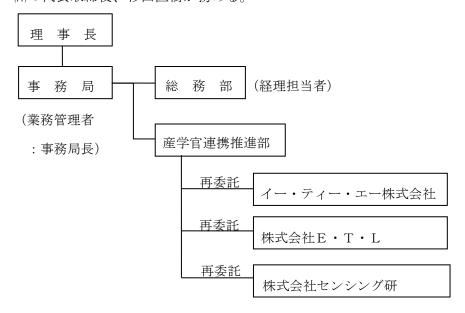
この研究開発では、310~320℃で 40 分間温度を維持可能で緻密な温度制御(加熱装置と炉内温度の差が 1℃以内で循環)ができる温度管理システムを開発する。この温度管理

システムを具備した装置では、1回の作業で数百個の FEL チップの処理ができ合格品(目 視検査で歪み・曇りの全くないもの)の収率を 90%とするのを目標にする。

#### 1-2. 研究体制

#### (1) 研究組織

今回の研究開発は、(公財)本庄早稲田国際リサーチパークが事業を管理し、イー・ティー・エー㈱、㈱E・T・L、㈱センシング研が研究開発を実施する。総括研究代表者(PL)は㈱E・T・Lの代表取締役、篠崎隆が務め、副総括研究代表者(SL)はイー・ティー・エー㈱の代表取締役、杉山直樹が務める。



総括研究代表者(PL) 株式会社E・T・L 代表取締役 篠崎 隆 副総括研究代表者(SL) イー・ティー・エー株式会社 代表取締役 杉山 直樹

#### (3)管理員及び研究員

事業管理機関の(公財)本庄早稲田国際リサーパークには管理員を置き、研究開発実施機関の再委託先には研究員を置いて業務を推進した。管理員と研究員の氏名、役職は以下のとおりである。

# 【事業管理機関】公益財団法人本庄早稲田国際リサーチパーク

#### 管理員

氏名	所属・役職
里見 泰啓	産学官連携推進部 産学官連携マネージャー

# 【再委託先】

# (研究員)

株式会社イー・ティー・エー

氏名	所属・役職		
杉山 直樹	代表取締役		
小暮 貴彦	開発部 主任		
伊藤 伸介	開発部 研究員		
岡本 智子	経理部 統括部長		

#### 株式会社E・T・L

氏名	所属・役職
篠崎 隆	代表取締役
原 隆雄	取締役

#### 株式会社センシング研

氏名	所属・役職		
田中 宏和	代表取締役社長		

# (4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

事業管理機関と再委託先それぞれの事業を統括する業務管理者と経理担当者は以下のと おりである。

#### (事業管理機関)

公益財団法人本庄早稲田国際リサーチパーク

(経理担当者) 総務部 中根 有希

(業務管理者) 事務局長 荒川 正夫

#### (再委託先)

イー・ティー・エー株式会社

(経理担当者)経理部 統括部長岡本 智子(業務管理者)代表取締役杉山 直樹開発部主任小暮 貴彦

株式会社E・T・L

 (経理担当者)
 代表取締役
 篠崎 隆

 (業務管理者)
 代表取締役
 篠崎 隆

 取締役
 原 隆雄

株式会社センシング研

 (経理担当者)
 代表取締役社長
 田中 宏和

 (業務管理者)
 代表取締役社長
 田中 宏和

 開発部 部長
 杉本 浩

#### (5)協力者

今回の研究開発を推進するにあたって、首都大学東京の菅野善則氏、日本工業技術振興 会から近藤信竹氏、山本雅曉氏、杉本行正氏、スタンレー電気から佐藤正典氏をアドバイ ザーに迎えて、研究開発の効率化を図った。

#### 研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
篠崎 隆	株式会社E・T・L 代表取締役	PL
杉山 直樹	イー・ティー・エー株式会社 代表取締役	SL
菅野 善則	公立大学法人首都大学東京 教授	アドバイザー
田中 宏和	株式会社センシング研 代表取締役社長	アドバイザー
岡本 智子	イー・ティー・エー株式会社 経理部 統括部長	委
近藤 信竹	社団法人日本工業技術振興協会 理事	アドバイザー
山本 雅暁	社団法人日本工業技術振興協会 室長	アドバイザー
杉本 行正	社団法人日本工業技術振興協会 技術士	アドバイザー
佐藤 正典	スタンレー電気株式会社 研究開発企画課長	アドバイザー

1-3. 成果概要

今回試作した FEL エミッターの完成度はまだ低い。残念ながら、加熱炉さえ作ればエ

ミッターの量産が出来るという結論は得られず、実用化にはエミッターの製造方法につい

て基礎から全製造プロセスの再構築を行う必要がある。

このため、加熱装置を FEL 以外の用途に転用することを検討している。大型加熱装置

の試作機ができ、改善課題も残っているが、今後、医療機器、半導体、食品等の汚れを嫌

う機器の熱処理装置としての活用への展開が期待出来る。

本研究で開発した加熱装置の特徴は

1) 系内が加圧状況下で窒素ガスを 100~300 m³/hr 循環出来る能力を有している。

2) 内部にスパイラル構造を有す加熱装置を持ち、短時間(15分)で100 m³/hrの循環室

素ガスを 15℃→300℃に昇温出来る。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 本庄早稲田国際リサーチパーク

産学官連携推進部 産学官連携マネージャー

里見泰啓

Tel:0495-24-7455

Fax:0495-24-7465

E-mail:y.satomi@kurenai.waseda.jp

5

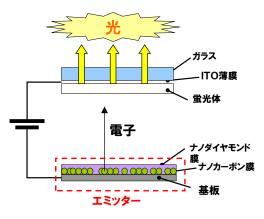
## 第2章 本論

本プロジェクトのテーマは「窒素ガス流体螺旋形状加熱装置を用いた FEL の工業的 生産技術の開発」である。まず、FEL とはどういうものかを説明し、次に窒素ガス流体 螺旋形状加熱装置とどう結びつくかを述べ、その後 最終成果を報告する。

# 2-1. FEL とは

FEL(Field Emission Lamp)=電界電子放出型ランプは、陰極(カソード)から電界電子放出現象により電子を取り出し、その電子を陽極(アノード)に塗布した蛍光体に衝突させて発光させる照明灯であり、一種の真空管である。

FELは、面発光・高輝度・高発光効率/低消費電力・長寿命・水銀レス・高速応答・低温発光・高演色性・真空内動作・高電圧駆動といった特徴をもつ次世代照明である。



FEL の構造図

# 2-2. エミッターの製法

FED や FEL でキーとなるのは陰極の電界電子放出を担う電子放出源(エミッター)の作り方である。均一な特性を持つエミッターを低コストで量産できる製法が確立できていないのが現状である

固体表面に閉じ込められていた電子は、固体表面に強い電界がかかると表面のポテンシャル障壁が低くなるためトンネル効果で真空中に飛び出しやすくなる。電界電子放出とは、外部から電界を加えることによりトンネル効果で固体表面から電子が放出される現象である。電界電子放出により効率的に電子を放出させるには高い電界が必要であるが、電圧をかける面積が小さくなればその分だけ電界が集中するので、針のように先端が尖ったものなら低い電圧で済む。そのため電界放出型電子源には、先端の鋭くとがった突起をもつものが用いられている。具体的には、半導体製造技術を応用して金属表面を微細な円錐状に加工したスピント型とナノレベルの細い先端をもつカーボンナノチューブ・カーボンナノウォール・ナノダイヤモンドなどの薄膜を用いたものがある。ナノカーボン系の材料を用

いる場合の製造方法には、CVD (Chemical Vapor Deposition) = 化学気相成長・化学気相 蒸着・化学蒸着により陰極上に直接成膜する方法とナノカーボンを含むペーストを陰極に 塗布して焼成する方法とがある。均一に製造するのが難しいが、塗布・焼成法が低コスト 量産に最も適する。

# 2-3. エミッター焼成用の加熱炉

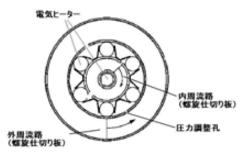
しかし、塗布・焼成法による FEL のエミッター生成工程で利用される従来の加熱炉には、構造的に問題があり、歩留まりが極めて悪く、市場投入の目処が立っていない。

エミッター薄膜生成工程では、金属などの表面にナノカーボン膜を種々の手法で固定し た後、その上にナノダイヤモンドとバインダー、溶剤を含むペーストを塗布する。次に加 熱炉内で材料表面温度を 320℃前後に一定時間維持してナノダイヤ薄膜の透明度を上げた 後に 520℃まで昇温して焼成し、ナノダイヤモンド薄膜の成膜を行う。従来の加熱炉は、 電気ヒーターで炉を昇温させ、放射熱で直接加熱するため、光が当たる部分とシャドー部 分が発生する。従って、炉を大型化した場合には、ファンなどで雰囲気を撹拌しても炉内 の温度分布のバラツキが大きく、多量のエミッター薄膜を均一に加熱し、一定に温度を維 持することができない。このため、従来技術では小型の炉内で所定温度に制御できる狭い エリアの所で1度に2個前後の合格品を焼成するのが限界である。また、バインダーなど から発生する不純物ガスにより、加熱雰囲気が汚染され、ナノダイヤモンド膜表面の曇り、 歪といった不具合が発生している。この不純物ガスにはハロゲン系分子も含まれており、 一般的なバインダー分解温度を保持する方法では、除去できない。これらの問題は、ヒー ターと炉が一体化しており、直接加熱するという従来型加熱炉の構造的要因から発生して いる。種々の問題を解決するためには加圧・加熱した窒素による、間接加熱が可能な構造 を備えた炉の開発が不可欠であった。加圧された充分に高い回転エネルギーを有する窒素 分子は、不純物ガス内のハロゲン系分子に衝突して跳ね飛ばし、よりクリーンで歪の無い (結晶性の良い緻密な)、ナノダイヤモンド薄膜を形成することができる。

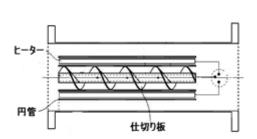
申請者らは、炉とヒーターを別設置とし、炉外のヒーターで加熱した窒素を炉内に循環させる間接加熱式の小型加熱炉[特許公開中(特開 2011-75145)]、炉内サイズ: W300mm×H300mm×D300mm]を試作し、技術の実証テストを行った。

本開発の加熱炉は外部に、窒素ガスを加熱するためのヒーターに該当する「螺旋形状流

体加熱装置」を別に備えている。

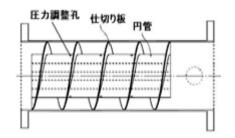


加熱炉の断面図



内周流路に注目した加熱装置の側面図

加熱装置の外観は円管形で、内部は4重(4層)の同心円管状になっている。円管中心(1層目の内部)と2層目と3層目の間には電気ヒーター(電熱線)がある。1層目と2層目の間と3層目と最外部(4層目)の間の円管内にはそれぞれ逆回転の螺旋仕切り板が取り付けられている。



外周流路に注目した加熱装置の側面図

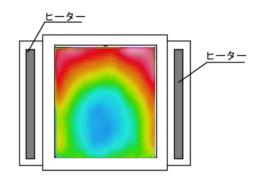
窒素ガスはこの螺旋仕切り板に沿って螺旋状に回転して加熱装置内を進む為、加熱された窒素ガスの分子が回転し衝突することにより効果的に昇温される。加熱装置内圧力のバランスをとるために、各層には圧力を逃す為の圧力調整孔が任意の位置に開けられている。

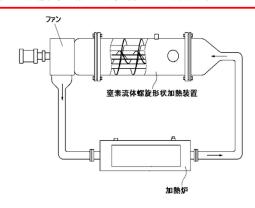
#### 従来技術の課題

- ◇ 炉とヒーターが一体化された炉壁 加熱(放射熱による直接加熱) であり、温度分布が不均一
- ◇ 加熱の加速度が大、成膜に悪影響
- ◇ 低生産性(2個/サイクル)
- ◇ 成膜時に炉内不純物ガスが滞留

#### 新技術の特徴

- ◇ 炉とヒーターを別設置し、 加熱窒素ガスを循環させる 加熱式(間接加熱)であり、温度分布が均一
- ◇ 加熱の加速度が小、緻密な成膜が可
- ◇ 高生産性(数百個/サイクル)
- ◇ 成膜時の炉内不純物ガスの放出可





実証テストでは、本提案の方法で製品レベルとして十分な品質の、ナノダイヤモンド薄膜を備えたエミッターが得られることが確認できた反面、昇温速度が遅く、この仕切り板の取付条件や、断熱材の施工方法、施工部位の選定、加熱装置の断熱構造、窒素ガス中に含まれる水分による内部腐食の改善が必要であることが分かった。また、各層ごとの圧力のバラツキを小さくするための、最適な調整孔の位置を検討する必要がある。さらに、加熱工程で発生する不純物ガスを炉内から除去する技術、炉内圧力に対応した炉形状、シール方式の検討、窒素ガス循環のためのファンの開発が不可欠であることも判明した。

## 2-4. 本プロジェクトの目標と成果

本プロジェクトの高度化目標は以下の2点である。

- ●試作炉をアップグレードした大型の実験炉、炉の加熱に必要な流体加熱装置、付随するシステムの構築、必要技術の開発を行う。
- ●開発した大型実験炉を用いて、FELのエミッター薄膜の大量生産実証実験を成功させる。

以下、成果を報告する

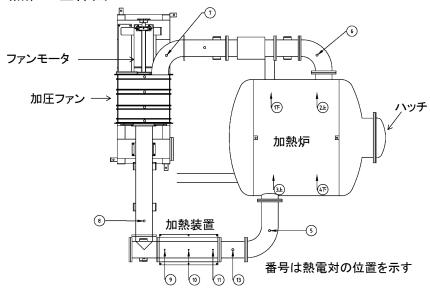
(1) 加熱炉の試作・運転・評価・改善

#### 【成果】

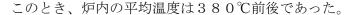
#### (1-1) 加熱炉の運転

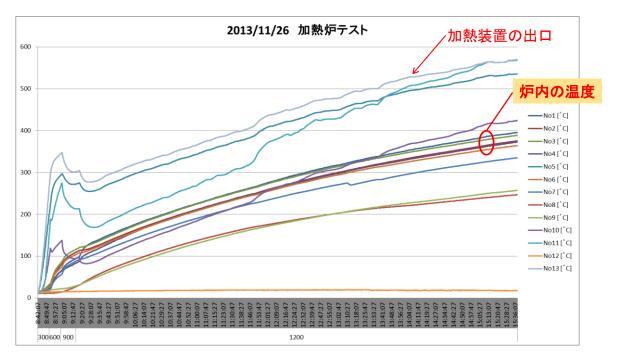
加熱炉の改良に多くの時間が取られ、エミッターを焼成しFEL化する時間的余裕が少なくなったので、加熱炉の温度制御性能評価を後に廻し、安定運転で炉を加熱し、エミッターの焼成を行った。昇温速度を緩やかに行ったので、炉内温度が300℃に到達するのに4時間以上を要したが、焼成炉内温度300℃以上で約4時間エミッターを焼成する事が出来た。加熱炉の全体図及び温度計の位置及び焼成時の温度データを下図に示す。

# 加熱炉の全体図



ファンの回転数を最大の 1200 r p mにしたとき、加熱装置入口は 2 4 6  $\mathbb C$ 、出口側配管内の温度が 5 3 5  $\mathbb C$ まで上昇しているので、発熱量は足りている。



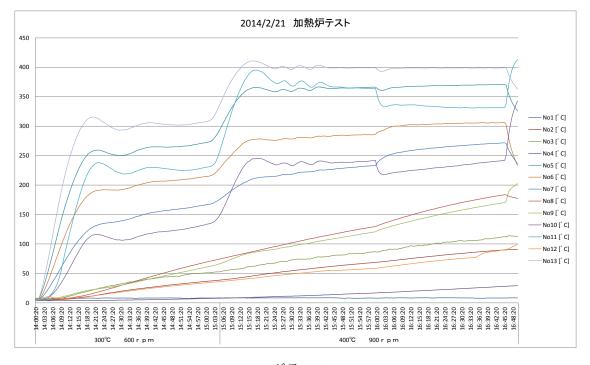


加熱炉各位置の窒素ガスの流速は、ファンの回転数が 750rpm の時に、加熱装置出口: 0.7m/s、 加熱炉入口: 0.6m/s、 加熱炉出口: 0.7m/s であった。系内の圧力は 1.2 気圧、加圧ファンの回転数と加熱炉各所の風速を下図に示す。

		2013/3	/18		気温 20.5	°C							
		Fan内の	風速測	定テスト									
		測定位	置は別組	13回参照。									
					omで行った。								
					々に大きくな	ネったのでイ	亭止したとこ	ろ軸が手で	で回転できた	ζl1。			
		軸が手	で回転て	ぎない。									
		単位m/	S										
								測定	位置				
測定日	NO,	Hz	rpm		チャン	パー室							
				1段目	2段目	3段目	4段目	加熱裝置入口	加熱裝置出口	加熱炉入口	加熱炉出口		ブロアー入口
3/18	1	25	750	4.0	14.3	12.8	4.6	1.4	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8
3/10	2	30	900	3.4	12.9	14.9	6.3	1.0	0.8	0.6	1.0	1.0	0.9

#### (1-2) 加熱炉の温度制御特性

エミタ一焼成時、炉内温度の上昇速度が緩やかで、炉内温度が 350℃に成るのに約 6 時間要したので、大型炉の実用炉として可能性が有るのか、最適操業性を検討する為、パネル盤の温度制御パラメータを変更し、加熱装置出口温度(測定点 No13)を 300℃及び 300~400℃に短時間で達するように制御するテスト運転を行った。その結果を以下のグラフに示す。グラフで一番高温になっている温度カーブが加熱装置出口の No13 である。

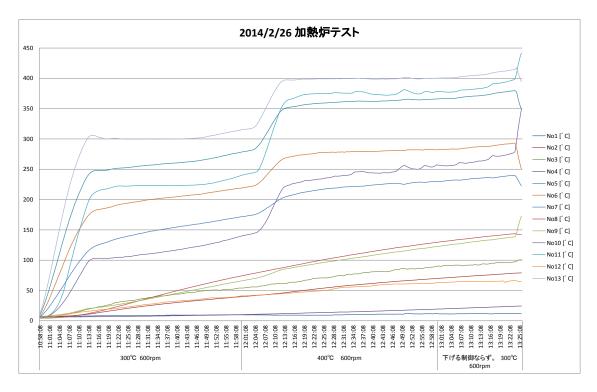


グラフ1

温度制御は加熱装置出口のNo13 の温度を目標値に近づけるように制御しており、室温  $\rightarrow$ 300°C 迄 20 分、300°C  $\rightarrow$ 400°C は回転数を 600rpm  $\rightarrow$ 900rpm にした事もあり、15 分で到達している。この事は、温度の追従性は大変良い加熱装置と考えられる。

グラフ1では制御がオーバーシュート気味だったので、制御パラメータを更に調整し、グラフ2のように良好な制御特性を得た。グラフ2はブロワーの回転数を 600rpm に維持したままでテストした結果、300℃迄に 15 分、300℃→400℃到達までに 20 分を要している。回転数を上げる事により、昇温スピードが速くなっている事も確認できた。

加熱炉内温度も加熱装置出口温度に追従しているが窒素ガス温度が 400℃では 300℃に は中々到達しなかった。焼成炉内温度を 300℃以上にするには加熱装置出口温度を 500℃以上にする事が必要である。



グラフ2

以上の結果より本研究で開発した加熱炉の特徴は

- ①系の圧力が加圧状態(約 1.2 気圧⇒120kPa)で風速約1 m/s を発生する事が出来、加圧ファン(モーター定格 3.7kW)の動力も低い。
- ②スパイラル構造を有する加熱装置(ヒーター  $2\,\mathrm{kW}\times7$  本)は加熱速度が速く、約  $100\,\mathrm{m}^3$  /hr の循環窒素ガスを  $15\,\mathrm{C}\to300\,\mathrm{C}$ に  $15\,\mathrm{分間}$ で昇温する事が出来る。

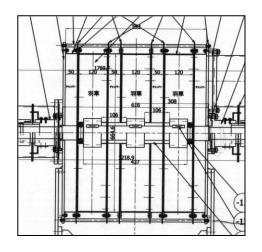
## (2) 加圧ファンの能力評価と改良

#### 【成果】

#### (2-1) 加圧ファンの開発

H24 年度までの変更で試作機として設計 FIX した。しかし、まだ改善変更の可能性が有ったため、SUS 材でファンを作るのは見送り、SS 材(炭素鋼)による試作にとどめた。

ファンの能力不足問題に対し、実験評価結果をフィードバックしてファンの構造設計を何度も見直し、H24 年度末まで変更修正を繰り返した。結果、3段重ねのファンで各段の前後に整流用のバッファ室を設けた構造に帰結した。下図に3段重ねのファンの図面及びこれを軸に取り付けた写真を示す。





下図に加圧ファンを系にセットし、モーターに接続した状態を示す。



ファンの位置は加熱装置の出口側から加熱装置の手前に変更し、<u>加熱装置の熱が直に炉</u> <u>釜に入る構成</u>にした。(2013 年 3 月)

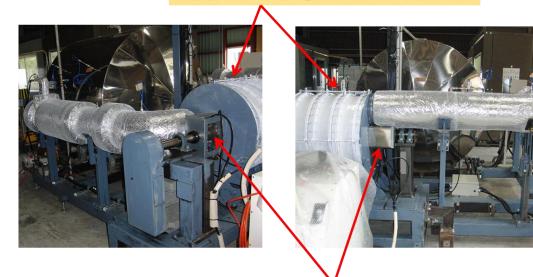
基本設計は H24 年度までに終わり、H25 年度はシール等、試作の過程で生じた問題点を解決・改善しながら、試作機を完成させる作業を行った。

密閉系で風速を一定速度に保持し循環させる加圧ファンの作製は困難を極めたが一連 の改善でやっと完成する事が出来た。

実験の結果、ファンが 750rpm の時、出口の風速が 0.7m/s に達したので実用レベルと判断した。

ファンの回転軸の軸シールには乾式メカニカルシール構造を採用。本来はメカニカルシールを採用すべきであったが、回転軸のシール性に懸念を持ち、上記シールを採用した。 摺動面の摩擦による発熱が大きくなる事が予想されたので、MIH (当社開発品の瞬時奪熱装置)で氷結エアーを吹きかけて、その気化熱で冷やす方式にした。これは狙い通りの効果を上げた。

# 断熱材でカバーする前の加圧ファン(3段重ね)



軸シール部 (冷却エアー吹きつけ用のカバーで覆っている)

#### (2-2) 大型加熱炉の開発について

温度を上昇させるにつれ、シールの漏れが、配管の継ぎ目、ファンのカバー部、加熱装置部分などに発生したため、0 リングの交換、シール材の変更、ねじの締め付けトルクアップ等を行い、時間が掛かったが、実用レベルにできた。

加熱実験で炉内の上部と下部の温度偏差が大きいことが判明し、

- 炉内の熱風の吹き込み口にダクトを追加して底面に向けてエアーを放出
- 炉のハッチからの熱漏失を防ぐ内蓋を追加

等の対策を実施した。炉内の場所による温度偏差が $\Delta$ T=23.2 $\mathbb{C}$ (=395 $\mathbb{C}$ -371.8 $\mathbb{C}$ ) に縮まったが、更に改善を要する。

#### (2-3) 加熱炉の今後の課題

今後、商業炉として販売して行くには次の3点の改善が必要と考えられる。

1. 加圧ファンのロングラン性の向上

炉内を高温にすると、回転軸も熱変形を来たし、こすれ等の問題を引き起こし、ロングラン性に欠ける。加圧ファンの構造等改善し、熱変形でこすれ等を引き起こさない構造に変更する。

- 2. 焼成炉の形状をガスが均一拡散しやすい構造に変更する。
- 3. 回転軸のシール方式をメカニカルシールに変更する。

#### (3) FEL用エミッターの試作・評価

#### 【成果】

#### (3-1) FEL試作の概要

H24 年度に実験評価用設備を作成し、ナノダイヤモンド・エミッターを使ってF ELの予備試作を行った。

H25 年度はカーボンナノチューブ・エミッターの焼成の有無と焼成位置による差を見るための比較実験を実施した。

★7月 : 3極管 5個試作(仮焼成3個を含む)

★9月 : 2極管5個試作(仮焼成3個を含む)

★11月:2極管5個試作(すべて焼成品)

★12月:2極管10個試作(焼成品8個、非焼成品2個)

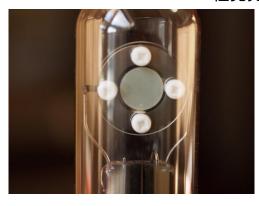
・ 各種運転条件にて試作エミッターを評価

⇒運転条件の違いによる差は判別できなかった。

・ 運転条件の最適化 ⇒最適化には至っていない。

H25 年度は加熱炉の完成に先立ち、7月と9月に先行評価を行った。このとき一部のエミッターは、発光管製造用電気炉を使用して窒素を封入したガラス容器中 400℃で仮焼成した。その後 11 月下旬に試作加熱炉による焼成を行い、これを用いた発光管を評価した。しかし、個々のばらつきが大きく、焼成の有無や焼成条件の違いによる差異を判別できなかった。運転条件の最適化は今後の課題である。

# 2極発光管の構造





蛍光体およびエミッターの直径13mm、エミッター(カソード)・アノード間距離3.0mm 蛍光体がブラウン管用の緑P22-GN4であるため、よく光るためには電子が蛍光体 にぶつかるスピードが速いことが望ましい。このため、カソード・アノード間の距離を 大きく取って4kV以上の電圧を加える。(4.5kVで電界強度1.5V/um)

 $eV = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 eV/m}$  (電子の速度vは電圧Vのルートに比例)

# 発光状態の写真



今回はエミッターの開発が目的なので、構造を単純な 2極管とし、蛍光体は入手し易いブラウン管用を流用 した。

最終的にFELを製品化する場合は、3極管構造にして電流値の制御を容易にすることや、電源電圧を下げ、低速の電子に適した蛍光体を選択することなども検討する必要がある。

#### 2極管CNT-FEL

	エージンク	<b>デ開始時</b>	24HI-	ジング後
No	電圧	電流	電圧	電流
1	4.0kV	0.162mA	4.0kV	0.059mA
5	4.0kV	0.193mA	4.0kV	0.032mA
10	4.0kV	0.558mA	4.0kV	0.116mA
15	4.0kV	0.014mA	4.0kV	0.014mA
3	4.0kV	0.047mA	4.0kV	0.016mA
8	4.0kV	0.120mA	4.0kV	0.017mA
17	4.0kV	0.212mA	4.0kV	0.065mA
9	4.0kV	0.053mA	4.0kV	0.012mA
6	4.0kV	0.045mA	4.0kV	0.005mA
4	4.0kV	0.039mA	4.0kV	0.006mA
11	4.0kV	0.038mA	4.0kV	0.009mA
2	5.0kV	0.100mA	5.0kV	0.001mA
7	4.0kV	0.012mA	4.0kV	0.004mA
13	5.0kV	0.030mA	5.0kV	0.000mA
18	4.0kV	0.010mA	4.0kV	0.003mA

\*中が黒ずんでおり(原因不明)、暗い

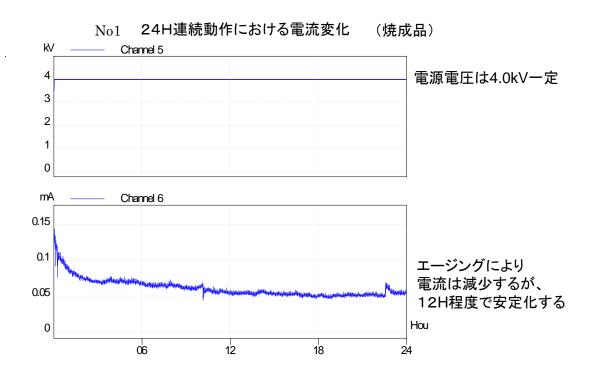
\*電流が流れるにもかかわらず全く光らない

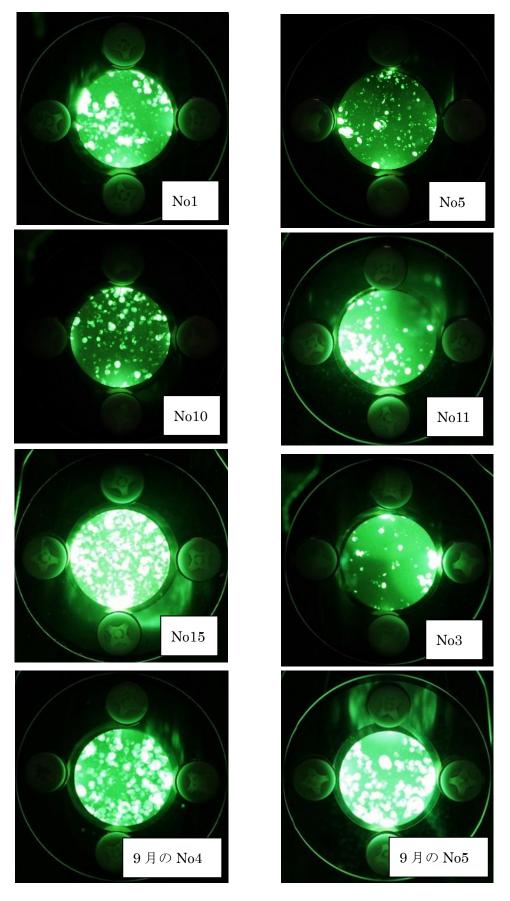
\*わずかに1点が光るだけである

No17と No18 は 非焼成品

No11,2,7,13,18 は 真空度不良の修理戻入品

15個のFELの電流値は上記の結果になった。



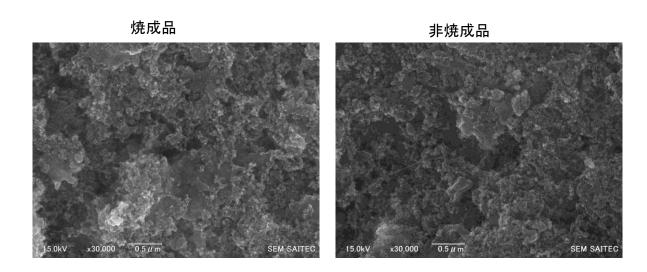


前ページの発光状態の写真は、露出を絞って (ISO200、60mm、f/4.5、1/800s に固定して) 光りのムラを観察したものである。

9月品に比べて11~12月品は暗い。また2度焼成したもの(No3)の方が暗い傾向である。これは、窒素炉による焼成によってエミッター膜の電子放出し易い成分の一部が消失した(風で飛ばされた?)のではないかという印象である。12月品の中ではNo15が明るいが、6kVを印加しても電流が少なく、電界電子放出の性能が良い(低い電圧で電子が放出される)とは言えない。発光面全体がもっと均一に発光してくれないと、良いエミッターだとは評価できない。焼成の効果を見るためには、エミッター膜作成の方法を更に改善することが必要と考える。

焼成によるエミッターの表面状態の変化が観察できるのではないかと考えて、SAIT ECにSEM写真撮影を委託したが、焼成有無の違いは判別できなかった。

# エミッターの表面のSEM写真(走査電子顕微鏡写真)



焼成有無の差異は今のところ不明

# 最終章 全体総括

今回試作した FEL エミッターの完成度はまだ低い。個々のばらつきが大きく、焼成の効果は見えてこなかった。

残念ながら、加熱炉さえ作ればエミッターの量産が出来るという結論は得られず、実用 化にはエミッターの製造方法について基礎から全製造プロセスの再構築を行う必要がある。

<u>焼成の有無により決定的な差が生じるということはこれまでの実験では見えておらず、</u> 窒素ガス中の焼成がエミッター製造の決定的に重要な工程とは考えにくい状況である。

我々は、加熱炉や冷凍技術は持っているが、エミッター製造の技術を持っておらず 外部の協力無しにはエミッターを製造できない。今のところ、別の委託先との協業の展望 は得られていない。一方、LEDの低価格化と性能の向上により、LEDライトの普及が 進み、FELの事業化が困難な状況になりつつある。

このため、加熱装置をFEL以外の用途に転用することを検討している。

加熱装置については、基本特許を以前に取得済みで、新たに加熱用ファンの特許化を検 討している。大型加熱装置の試作機ができ、改善課題も残っているが、今後、他の用途の 生産ラインへの展開が期待できる。

本研究で開発した加熱装置の特徴は

- 1) 系内が加圧状況下で窒素ガスを 100~300 m³/hr 循環出来る能力を有している。
- 2) 内部にスパイラル構造を有す加熱装置を持ち、短時間(15分)で100 m³/hrの循環室素ガスを15℃→300℃に昇温出来る。

今後、医療機器、半導体、食品等の汚れを嫌う機器の熱処理装置としての活用への展開が期待出来る。

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報(未出願 又は未公開の産業財産権等又は未公開論文)、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、 通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法 律(平成11年法律第42号)に基づく情報開示請求の対象の文書になります。

