

창업성장-기술개발사업

고 효율 Magnetron cathode 개발

(주)씨엔아이테크놀로지

중소기업기술정보진흥원

**[편집순서 2 - 제출문]****제 출 문****중소기업청장 규하**

본 보고서를 중소기업기술개발지원사업에 과제의 최종보고서로 제출합니다.  
(최종보고서 공개( ), 비공개( 5년) \*비공개는 최장 5년임.)

- 사업명 : 창업과제-건강진단연계
- 과제명 : 고효율 Magnetron Cathode 개발
- 개발기간 : 2013. 08. 01. ~ 2014. 07. 31. (12 개월)



2014 . 09 . 30 .

주 관 기관 : (주)씨엔아이테크놀로지 (대표자) 김창수 (인)  
(공동개발기업/참여기업) : (대표자) (인)  
(위탁연구기관) : (대표자) (인)

과제책임자 : 김창수  
연 구 원 : 김종운  
" : 이민진  
" : 윤 철  
" : 전상혁  
" : 채영복  
" : 정광민  
" : 양원석

[편집순서 3 - 요약서(초록)]

요 약 서 (초 록)				
과 제 명	고효율 Magnetron Cathode 개발			
키 워 드	마그네트론, 캐소드, 실린더리칼 캐소드, 로테이터블 캐소드, 스퍼터링 캐소드			
개발목표 및 내용				
항 목	계 획	실 적	달 성도(%)	
개발목표	85% 이상의 Target 효율을 갖는 magnetron cathode 개발	Target 효율 87.3%를 갖는 Cylindrical magnetron cathode 개발하여 제품화 적용 완료	100	
정량적 목표항목 및 달성도	1.Erosion efficiency	>85%	87.23 %	100
	2.Leak rate	< 5E-9 torr.l/sec	1.45E-9 torr.l/sec	100
	3. Uniformity	<±3% on 200X200 glass	1.55% ~ 2.71%	100
	4. Power density	12W/cm <sup>2</sup>	17.4 W/cm <sup>2</sup>	100
	5. Target life time	>400kWh	432 kWh	100
	6. Depo. rate	30Å.m/s	36.05 Å.m/s	100
기타성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지적재산권(특허, 실용신안 등) : 1건수(특허등록 건, 특허출원 1건, ---)</li> <li>○ 논문발표 : 건수</li> <li>○ 기타 : 인증, 포상, 개발제품 매출, 기술이전 등           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발제품 매출 : 약 30억</li> </ul> </li> </ul>			
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 매출 증대 : 40억 이상/년 예상</li> <li>○ 수입 대체 : 수입가 대비 60~70%</li> <li>○ 생산성 및 품질 향상           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Step coverage 50% 이상</li> </ul> </li> <li>○ 생산원가 절감 (Planer형 효율 40% -&gt; Cylindrical형 효율 85% 이상)</li> </ul>			
적용분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 반도체 : 전극, 전자파 쉴드 등</li> <li>○ 태양전지 : CIGS화합물 박막태양전지(Cu, In, Ga 등), 전극 등</li> <li>○ Touch panel : 투명전극(ITO) 등</li> <li>○ OLED용 보조전극 형성</li> <li>○ FPCB용 전극 형성 : FPCB용 전극</li> </ul>			
변경사항	없음			

# 목 차

## 제 1 장 개발기술의 개요

### 제 1 절 개발기술의 중요성

1. 개발기술의 개요
2. 개발기술의 중요성(필요성)

### 제 2 절 국내외 관련기술 현황

1. 국내 관련기술 현황
2. 해외 관련기술 현황
3. 연구수행기관의 관련기술 현황

## 제 2 장 개발목표 및 개발내용

### 제 1 절 기술개발 목표

1. 기술개발 최종목표
2. 정량적 목표항목



### 제 2 절 세부 계획 및 개발내용

1. 세부 개발계획 및 개발범위
2. 세부 개발내용
3. 개발 목표항목 달성을 평가방법 및 평가결과

## 제 3 장 성과요약 및 기대효과

### 제 1 절 핵심기술 및 개발성과

1. 핵심기술 확보
2. 개발성과

### 제 2 절 기대 효과

### 제 3 절 사업화 계획

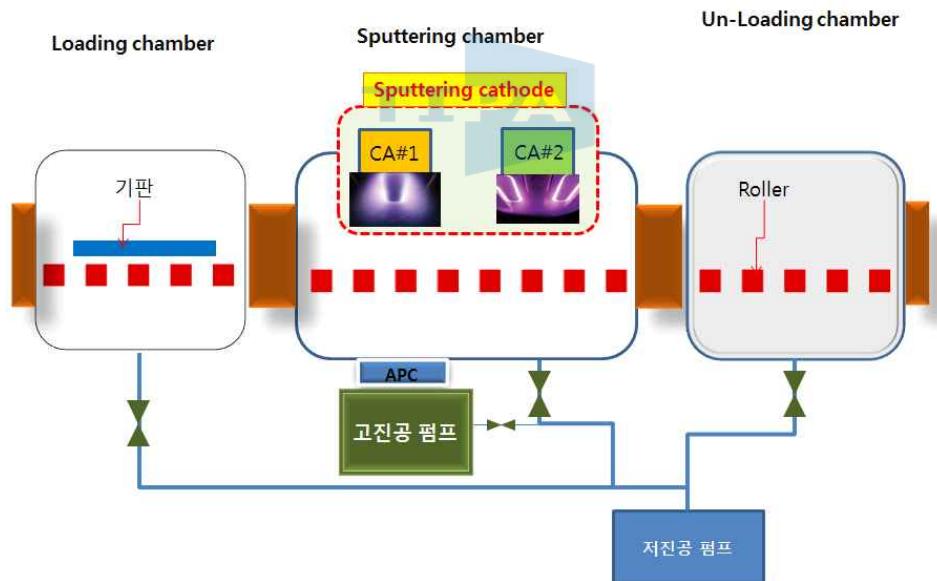
## 제 1 장 개발기술의 개요

### 제 1 절 개발기술의 중요성

#### 1. 개발기술의 개요

- Sputtering 기술 개요

- Sputtering은 진공에서 glow discharge를 이용하여 ion을 형성하고 이를 가속하여 고체 표면에 충돌시켜 고체 내부의 원자나 분자의 운동량을 교환하여 표면 밖으로 튀어나오는 현상.
- 일반적인 Sputtering System은 진공을 형성하고 기판이 이송되기 위한 진공 챔버와 진공을 유지하기 위한 진공 펌프, 기판에 원하는 박막을 형성하기 위한 Sputtering cathode 등으로 이루어짐.
- 이중 Sputtering cathode가 가장 핵심이 되는 기술이며, Cathode의 성능이 System 전체의 성능과 양산성 등을 결정 하는 중요 인자가 됨.



[그림 1. In-line Sputtering 장치]

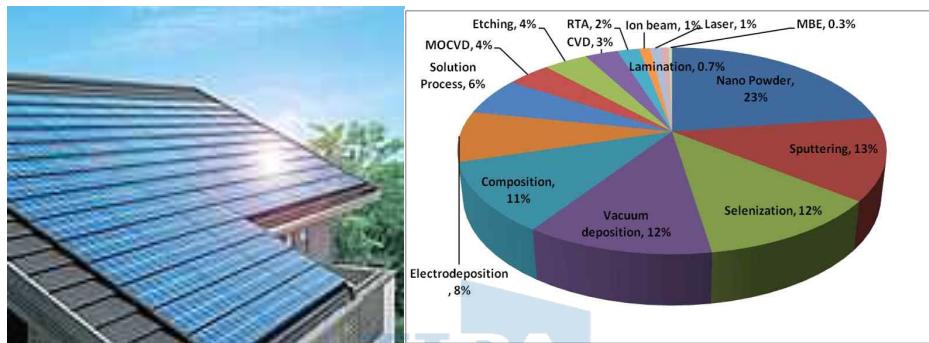
- Sputtering Cathode 기술 개요

- 플라즈마 상태에서 기판에 박막 형성을 원하는 타겟(재료)으로 Sputtering 기술을 이용하여 박막을 형성하는 장치.
- Round cathode, Rectangular cathode, Moving magnetron cathode, Dual magnetron cathode, Cylindrical cathode 등 다양한 cathode가

있음.

- Sputtering 기술 응용 분야

- 미래산업으로 각광받고 있는 태양전지 시장은 기존 디스플레이 산업과 같이 대규모 설비 투자가 예상됨.
- 2010년 기준 태양광 모듈의 매출액은 LCD 모듈&반도체 디바스 산업의 1/4 ~ 1/10 수준이나 향후 매출 성장율은 2~10배 수준으로 예상되며 성장 가능성성이 매우 큼.
- 특히, CIGS 박막태양전지 제조에는 Sputter가 핵심 기술로써 그 비중이 꾸준히 증가되고 있음.

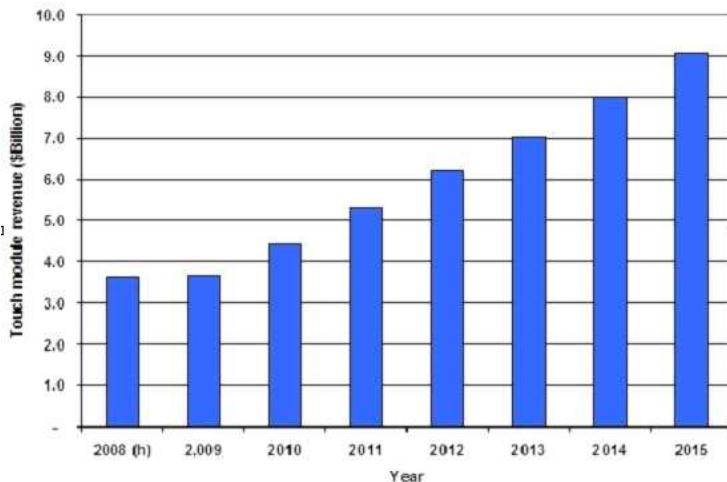


[그림 2. CuInSe2 based solar cell key patent status by technology,  
출처: 2011 Solar & Energy]

- Touch panel 시장은 Smart phone의 등장에 맞추어 전 세계적으로 폭발적인 수요가 일어나고 있으며, [그림 3]와 같이 향후에는 모든 전자기기의 입력장치로서 사용하게 될 전망임.
- Touch 시장의 규모는 아래 [그림 4]와 같이 계속적으로 급속히 성장할 전망임.
- Touch panel의 제작은 품질을 좌우하는 투명전극(ITO)을 형성기술로 Sputtering 방식이 사용되고 있으며, 그 수요가 계속해서 증가되고 있음

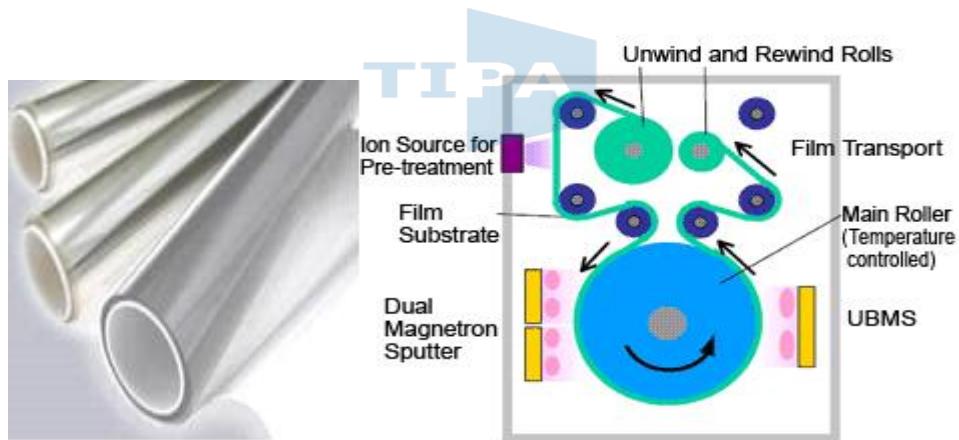


[그림 3. Touch panel 적용 분야]



[그림 4. Touch panel module 시장규모, 출처: DISPLAY SEARCH]

- 최근 급성장하고 있는 Touch panel 및 터치원도우 시장의 ITO film부의 증착방법으로 roll to roll sputtering 기술이 사용되고 있음.



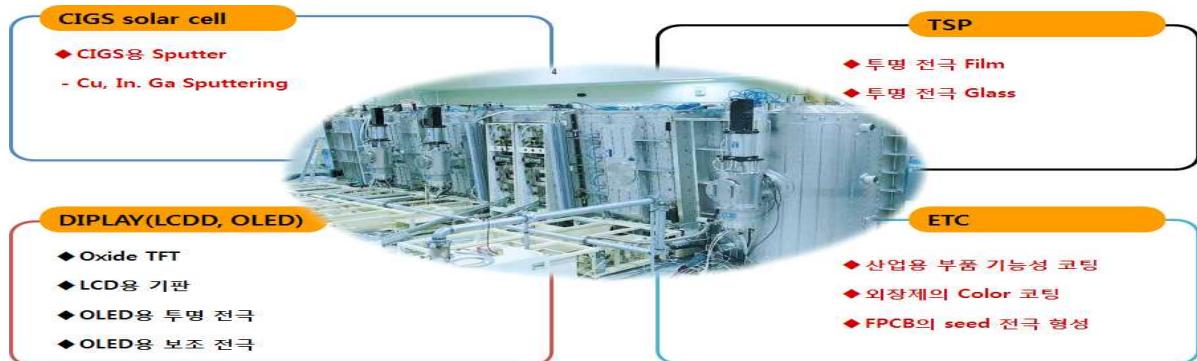
[그림 5. Roll to Roll film 증착 장치]

#### ○ 제품 적용 분야

- 반도체 : 전극, 전자파 쉴드 등
- CIGS화합물 박막태양전지: Cu, In, Ga를 증착 시 sputtering source로 활용 가능 함.
- Touch panel : Touch panel glass에 투명전극(ITO) 형성용 sputter source로 활용 가능 함.
- OLED용 보조전극 형성 : OLED 보조전극용 metal 증착 source로 활

용 가능, 절연막 형성용 sputter source로 활용 가능 함.

- FPCB용 전극 형성 : FPCB용 전극 형성 Sputter source로 활용.

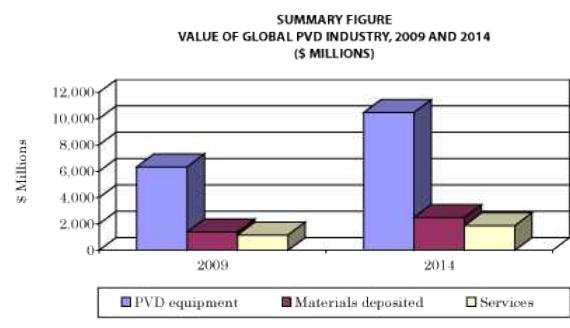
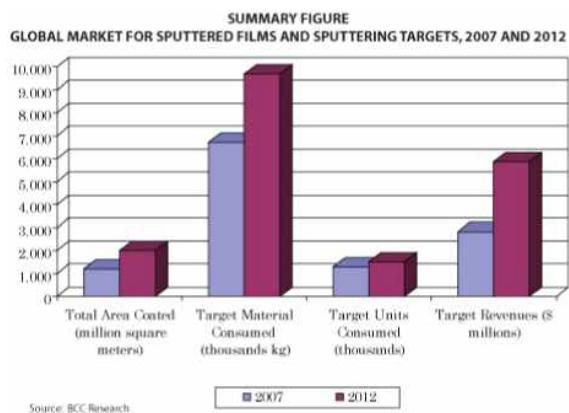


[그림 6. Sputter 적용 분야]

## 2. 개발기술의 중요성(필요성)

### ○ 경제적 측면

- Sputter는 반도체, 디스플레이, optical storage media, 태양광 등의 다양한 산업분야에 적용되고 있음.
- Sputter의 global market 시장은 꾸준히 증가하고 있으며, [그림 7]에서 Sputter target과 sputtered film시장은 2007년에 28억 달러에서 2012년에 59억 달러에 다다르며, 2015년도에는 60억 달러에 이를 것으로 예상됨.
- 또한 PVD 장비 시장은 2009년에 약 64억 달러에서 매년 10.5%씩 성장하여 2014년에는 약 100억 달러까지 성장할 것으로 예상됨.



[그림 7. Global Market 및 PVD 시장, 출처: BCC Research]

- 특히, 향후에는 디스플레이와 Solar cell 시장에서의 성장세가 두드러질 것으로 예상됨.
  - 따라서, 이와 같이 Sputter market의 성장에 맞춰 Cathode 시장은 비례적으로 증가할 것이 예상되며, 고효율 cylindrical cathode의 수요 또한 크게 증가 할 것으로 예상됨.
- 기술적 측면
- Sputtering은 오래전부터 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있음
  - 반도체분야에서 Sputter기술은 많은 발전이 되어 있으며, 12inch wafer를 넘어 16inch 용의 cathode도 개발완료 및 진행되고 있음.
  - 최근에는 디스플레이 및 TSP용의 Sputtering 기술 개발에 대한 요구와 그에 따른 개발이 이루어지고 있음.
  - 특히, 최근의 기술 개발 방향은 타겟의 사용 효율을 높여 생산성 향상 및 생산 단가를 낮추기 위한 방향으로 진행되고 있음.
  - 한편으로는 반응성 스퍼터링을 이용하여 생산 속도를 높이려고 하고 있으며, 이때 Cathode의 고 자장 형성 및 균일한 자장 분포를 가질 수 있는 방향으로 개발이 진행되고 있음.
  - 현재는 주로 Single 또는 Dual planer type의 cathode로 생산이 이루어지고 있음.
  - Planer type의 cathode는 사용 효율이 최대 40% 수준에 머무르고 있어 생산성이 낮은 수준임.
  - Cylindrical type의 cathode는 최대 효율을 85%까지 향상 시킬 수 있어 타겟의 재료비 절감과 생산성을 획기적으로 높일 수 있음.
  - Sputter 기술의 핵심은 얼마만큼 타겟 효율을 증가시켜 생산성을 향상 시킬 수 있는지가 관건임.
  - 이를 반영하듯 Sputter market의 성장세에 반해 타겟 물질의 소비는 다소 둔한 성장세가 예상되고 있음.
  - 따라서, 고효율 sputtering cathode의 기술이 생산성 향상을 위한 매우 중요한 기술 Factor가 되고 있음.

## 제 2 절 국내외 관련기술 현황

### 1. 국내 관련기술 현황

- Cylindrical cathode 기술은 일부 해외 업체에서만 기술을 보유하고 있으며, 국내에서는 아직까지 자체개발 상용한 실적이 없는 상태이며, 그 기술 수준이 선진해외업체에 뒤지는 상황임.
- 몇몇 국내 업체에서 개발을 시도 하였지만 높은 파워 인가 및 냉각수 누수에 문제가 발생하여 상용화 되지 못하고 있음.

### 2. 해외 관련기술 현황

- Cylindrical cathode의 기술 보유 해외업체로는 GPI, Gencoа, Bekaert 등이 있음. 특히, Gencoа의 경우 가장 핵심기술인 End block으로 GPI 제품을 활용하고 있음.
- GPI 제품의 경우 400A의 고파워를 인가 할 수 있으며, 타겟 사용 효율 또한 85% 이상으로 가장 앞선 기술을 보유하고 있음.
- Bekaert는 오랜 기간 Cylindrical cathode를 개발하여 회전 동력을 직접 모터와 기어로 연결하여 직접 전달하는 방식 채용.

### 3. 연구수행기관의 관련기술 현황

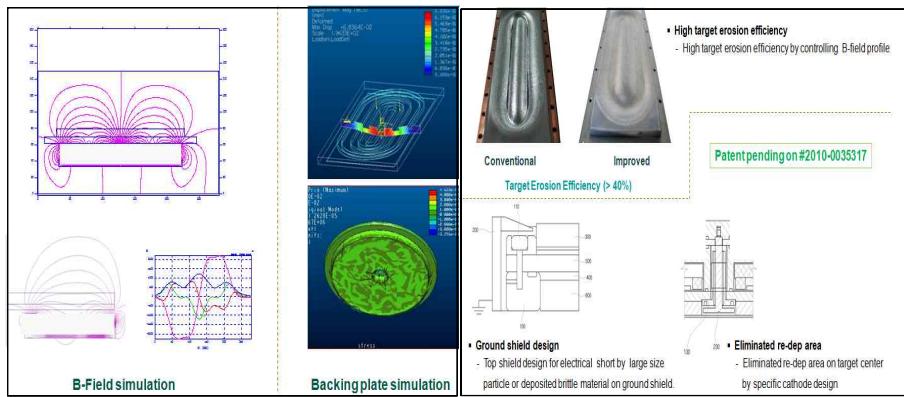
#### ○ Sputtering cathode 전문업체

- 연구수행 기관은 Magnetron sputtering cathode 전문업체로 Round cathode, Rectangular cathode, Moving magnetron cathode, Dual magnetron cathode 등 다양한 cathode 기술을 보유하고 있다. 상당수 기술들이 Cylindrical cathode개발에 공통적으로 적용될 수 있음.



[그림 8. 연구수행기관의 Cathode 제품]

- Magnetron cathode 관련 특허 보유
  - Target erosion 효율을 향상 시킬 수 있는 자석 구조 및 cathode 구조에 관한 특허를 보유.



[그림 9. 연구수행기관의 Cathode 특허]

- End block 설계 기술
  - Cylindrical cathode의 핵심기술인 End block의 구조를 파악하고 특허를 회피하여 자체적으로 설계할 수 있는 기술을 보유.
- B-Field simulation
  - Magnet bar의 자석의 B-field를 해석할 수 있는 능력을 확보하고 있어 최적의 자장설계를 할 수 있는 기술력을 보유.
- Gas nozzle 기술
  - Reactive sputtering은 균일하게 분사되는 gas의 flow에 따라 박막에 특성이 큰 영향을 받게 됨. 이런 reactive sputtering에 적합한 gas 분사 nozzle에 대한 기술력을 보유.

## 제 2 장 개발목표 및 개발내용

### 제 1 절 기술개발 목표

#### 1. 기술개발 최종목표

- 85% 이상의 Target 효율을 갖는 magnetron cathode 개발.

#### 주요 기술개발 내용

- 동력 전달 End block 개발
  - 고 진공 sealing용 2축 회전체 개발
  - 냉각수 공급모듈 개발
- Support end block 개발
  - Power 인가모듈 개발
  - Bearing 지지모듈 개발
- Magnet bar 개발
  - Magnet 배열 최적설계 및 적용
  - Magnet 몰딩 기술 확보 및 적용
  - Magnet cooling concept 확보 및 적용
- Gas 분사장치 개발
  - Multi zone gas 분사 노즐
  - Gas flow control 장치 개발

#### 2. 정량적 목표항목

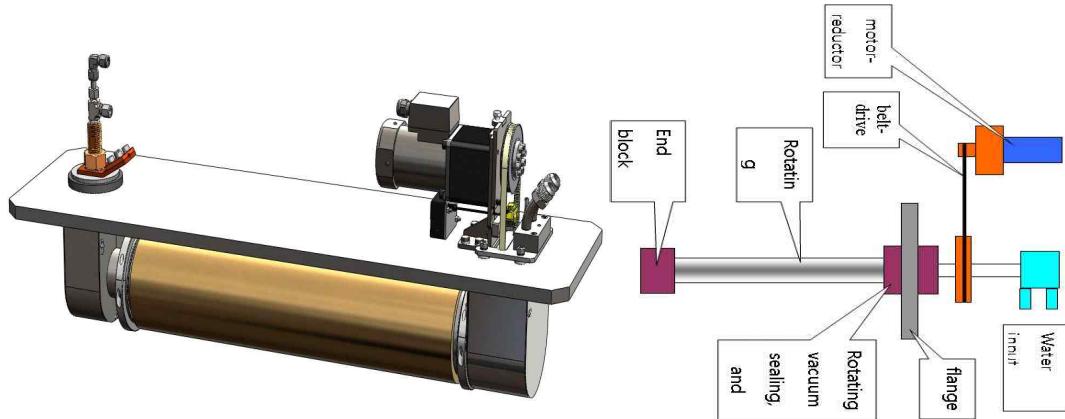
<표 1> 정량적 목표 달성을 평가지표

주요 성능지표 <sup>1)</sup>	단위	최종 개발목표 <sup>2)</sup>	세계최고수준 (보유국/보유기업)	가중치 <sup>3)</sup> (%)	객관적 측정방법	
					시료 수 (n≥5개)	시험규격
1. Erosion efficiency	%	>85%	>85%	30	2	공인인증기관 (Weight)
2. Leak rate	torr.l/ sec	< 5E-9	< 5E-9	20	5	공인인증기관 (leak detector)
3. Uniformity	%	<±3% on 200X200 glass	<±5% on 200X200 glass	10	5	공인인증기관 (Surface profile)
4. Power density	W/cm <sup>2</sup>	12	10W/cm <sup>2</sup>	10	5	Power supply log분석
5. Target life time	kWh	>400	>400kWh	20	2	Power supply log분석
6. Depo rate	Å.m/ s	30	30	10	3	공인인증기관 (Surface profile)

## 제 2 절 세부 계획 및 개발내용

### 1. 세부 개발계획 및 개발범위

#### 가. 개발계획 및 주요 개발항목



[그림 10. Cylindrical Cathode 개발 컨셉]

- Cylindrical cathode는 [그림10]와 같이 진공과 대기를 분리 해 주는 플랜지, 고진공 회전체, 회전 타겟블럭, End block, power 및 냉각수 인가부, 회전 구동부로 구성.
- End block은 원통형 타겟이 회전하면서 고진공을 유지하며 냉각수의 누수가 없는 compact한 End Block을 개발.

#### (1) 동력 전달용 End block 개발

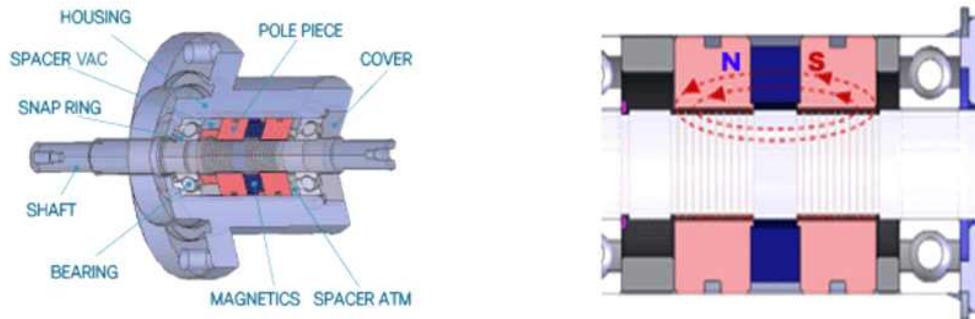
- 고진공을 유지하며 타겟과 magnet bar를 회전시킬 수 있는 2중 축 sealing 장치를 개발.
- 원통형 타겟과 magnet bar를 회전시키기 위해 belt를 삽입.
- 고진공 유지를 위한 sealing 방법을 평가하여 최적 방법 적용.

<표2> 각종 sealing 방법에 따른 특성 비교

	Lip seal	O-ring seal	Ferro-seal
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 형상 간단하여 적용 용이</li> <li>- 저가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저가</li> <li>- 적용이 용이함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고속회전체에 적용 가능</li> <li>- 고진공 sealing 특성 우수</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고압의 냉각수 부에 적용 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 단, 수명 고속 회전체에 적합하지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고가</li> <li>- 열에 약함</li> </ul>

- Ferro-seal

- 약 10nm 정도의 자성을 갖는 미세 입자를 액체에 혼합한 colloid 상태의 자성유체로 고진공 영역에서 sealing이 가능하고 수명이 길.
- 마찰에 의한 입자 발생이 없으며 손실 토크가 적고 고속회전이 가능.



[그림 11. Ferro-seal 구조]

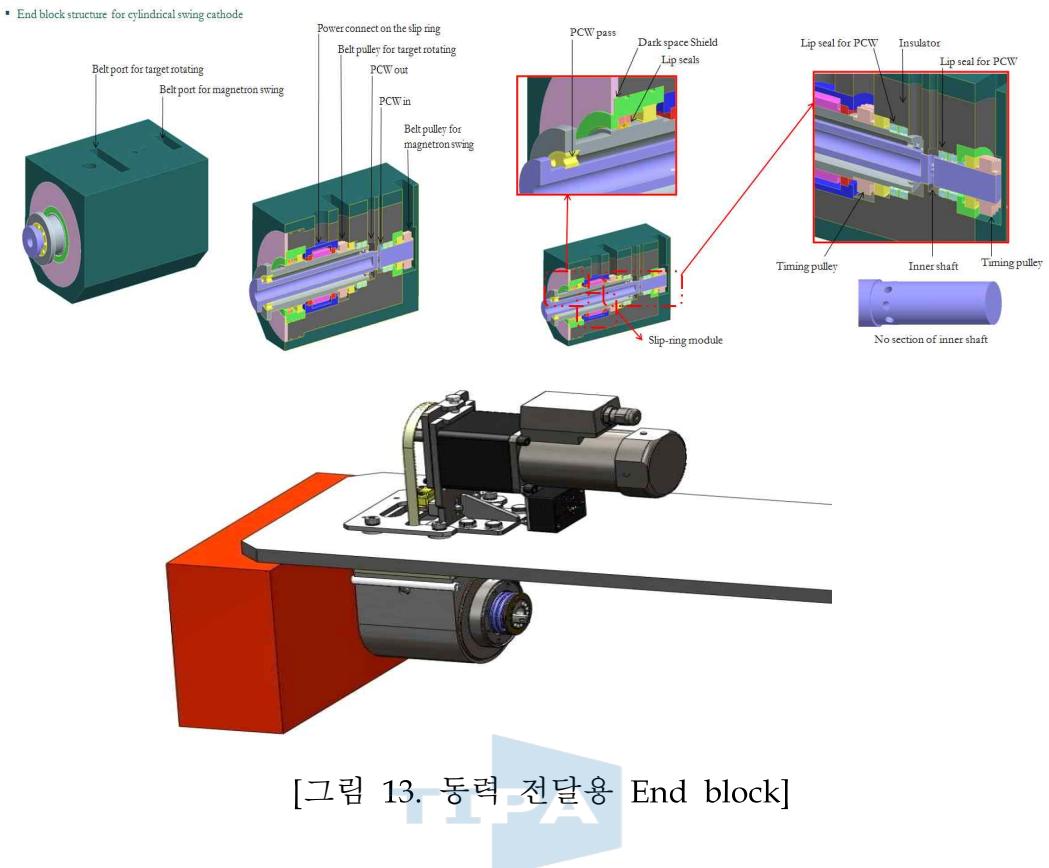
- Mechanical seal

- Mechanical seal은 Shaft에 고정된 Rotary part와 외벽에 고정된 Stationary part 간 섭동면에 유막으로 sealing.
- 고정자와 회전자 간의 유막을 형성하여 sealing, 사용기간이 길고 sealing 능력이 우수함.



[그림 12. Mechanical seal]

- magnet과 타겟 cooling을 위해 cooling water를 흘릴 수 있도록 회전축에 cooling path를 확보.
- Timing pulley를 이용하여 motor와 연결할 수 있는 동력전달부 개발.



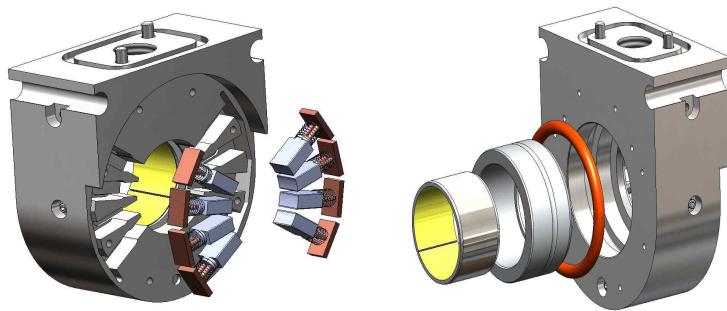
[그림 13. 동력 전달용 End block]

## (2) Support End block 개발

- 타겟을 지지할 수 있는 bearing 구조물 개발.
- Carbon brush은 회전 타겟에 power를 인가 할 수 있고 회전체와 정지체 사이에서 전기를 가역적으로 전달.



[그림 14. Carbon brush 종류]



[그림 15. Support End block]

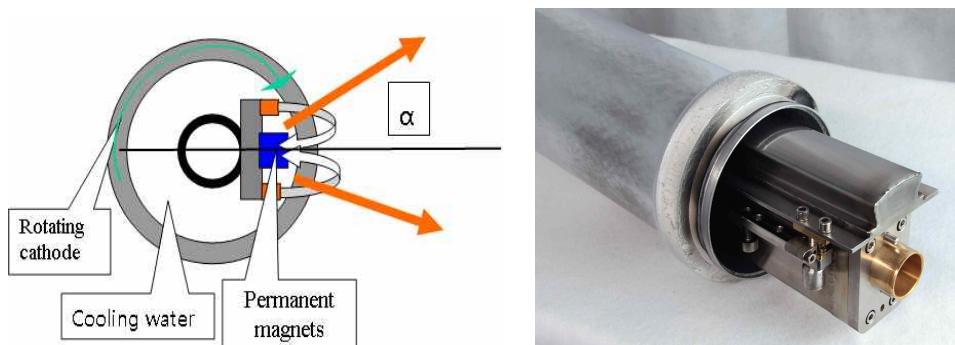
### (3) Magnet bar 개발

- Cylindrical cathode의 내부 형상은 [그림16]와 같이 구성되며, 이중에서 타겟의 Erosion 형상을 결정하는 중요한 인자가 Magnet bar임.



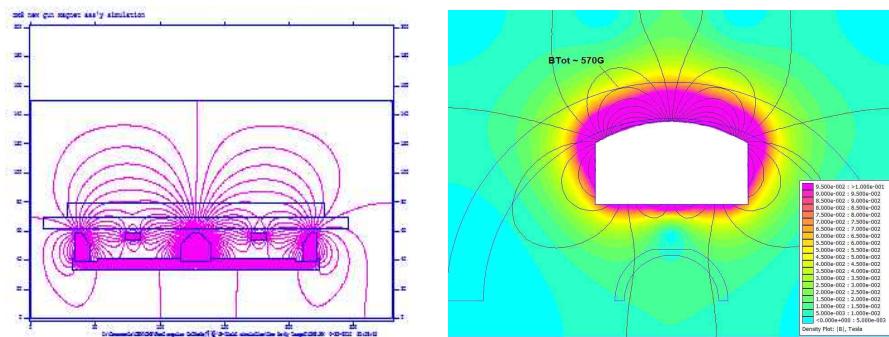
[그림 16. 타겟의 Erosion 형상]

- 마그넷은 일반적으로 영구 자석을 사용하며 Sputtering시 고온에 의한 탈자를 방지하기 위해 냉각수를 흘려줌.



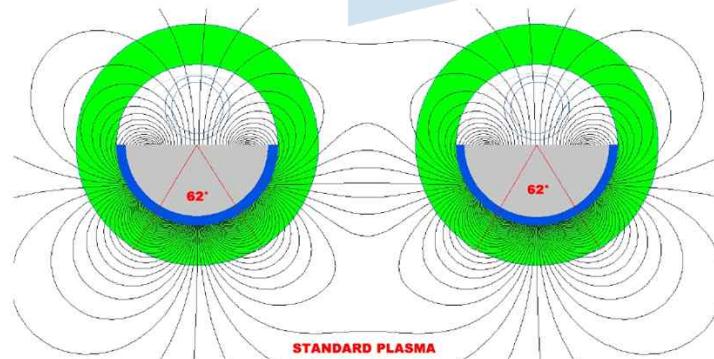
[그림 17. Margnet bar]

- Magnet bar의 자석 배열은 B-field simulation을 통하여 최적의 자장 형성이 될 수 있도록 함.
- Magnet 배열의 Simulation은 super-fish 또는 전용 자장 시뮬레이션 tool을 이용하여 진행.
- 타겟 양 끝단의 unbalance한 erosion을 방지할 수 있는 자장설계를 수행.



[그림 18. B-field simulation]

- Magnet bar의 자석 배열은 증착 두께와 영역을 결정하는 주요 인자로서 B-field simulation을 통하여 최적의 자장 형성이 될 수 있도록 함.



[그림 19. Sputtering angle]



[그림 20. Dual Planer Cathode와 Dual Cylindrical Cathode]

#### (4) Gas 분사장치 개발

- Reactive sputter 등 반응성 가스를 이용한 스퍼터링은 가스의 분포가 매우 중요함.
- Multi zone gas 분사장치를 개발하여 제품에 적용.
- Multi zone의 gas flow를 control 할 수 있도록 함.

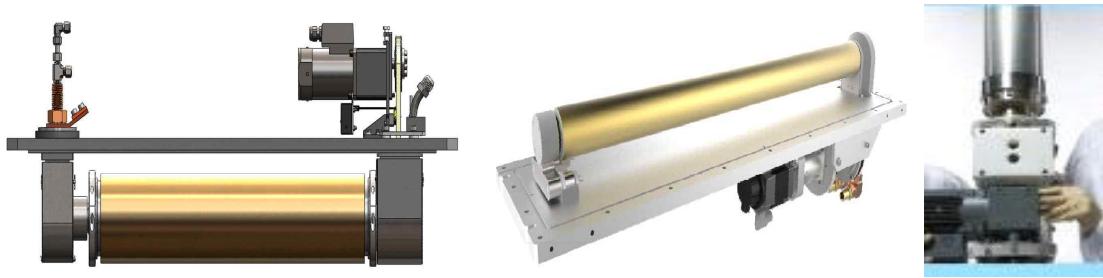
## 2. 세부 개발내용

### 가. 주요 경쟁사 제품 및 관련기술 분석

- Cylindrical Cathode의 기술 보유 해외업체로는 GPi, Gencoа, Bekaert 등이 있고, GPi는 Gencoа의 End block을 제품에 채용하고 있음.
- 타겟 효율은 GPi가 85% 이상이며, 박막 uniformity는 GPi와 Gencoа가  $\pm 3\%$ 로 우수하고 진공 seal은 각사 다양한 방법을 채용하고 있음.
- Sputtering angle은 GPi가  $18^\circ$ , Gencoа와 Bekaert는  $30^\circ$ 로 각각 장단점은 있음.

<표 3> 해외 주요 경쟁사 제품 사양 분석

	GPi	Gencoа	Bekaert
Target utilization	Standard > 85%	Standard 60% Dog bone 85%	Dog bone 85%
Depo. uniformity	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$
Vacuum seal	Ferro magnetic	Lip	Lip / mechanical
Water seal	ceramic / carbon		
Operating current	standard 400A/ compact 200A		400A
End block size (L,mm)	standard 204/ compact 122	200	Approx. 200
End support (L,mm)	standard 204/ compact 122		
Sputtering angle	$18^\circ$	$30^\circ$	$30^\circ$
Feature	No dog-boning	various mounting Style	efficient performance in reactive sputtering
	3-zone binary gas manifold		



[그림 21. 해외 주요 경쟁사의 Cylindrical cathode 외관]

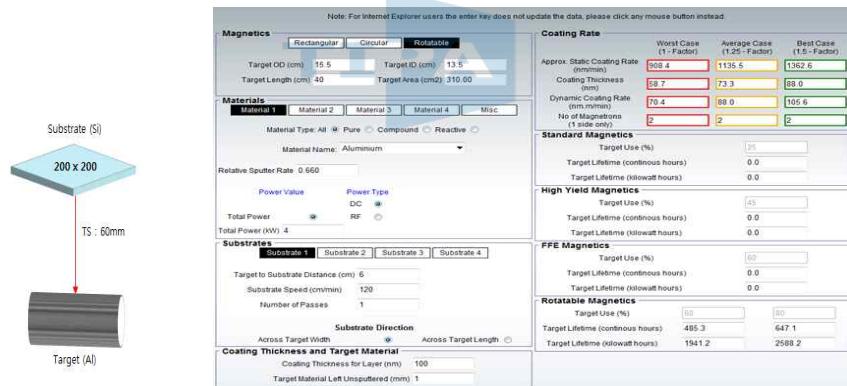
#### 나. Cylindrical Cathode 선행 요소기술 개발

##### (1) 주요 개발 사양 검토 및 분석

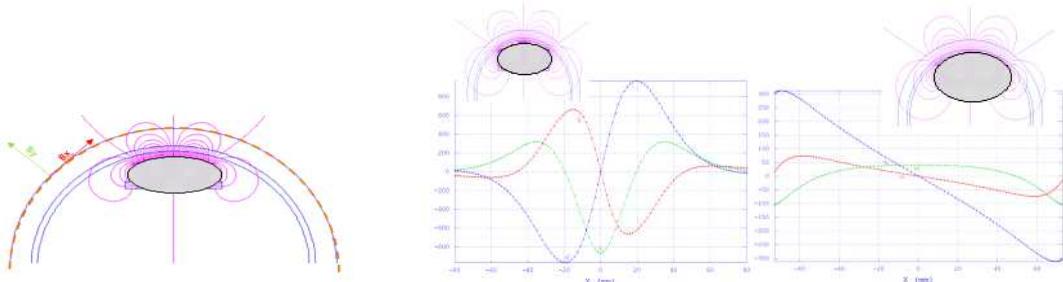
- Target Size

- 내경 : 135mm, 외경 : 155mm, 두께 : 10mm
- Sputtering angle :  $18^\circ$

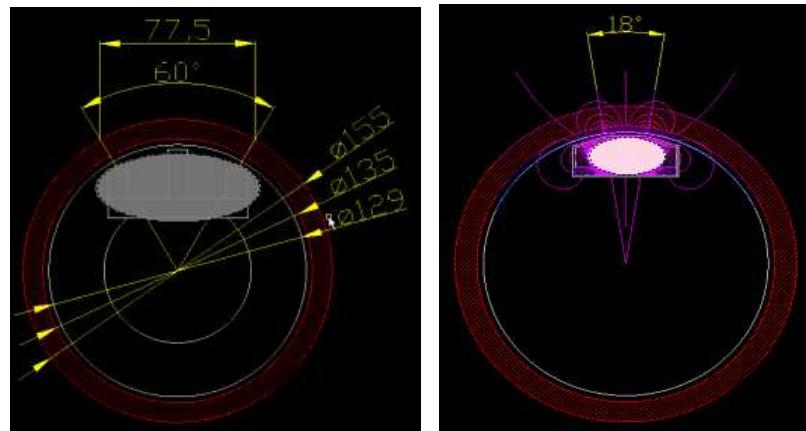
- T/S(Target/Substrate) Distance Simulation



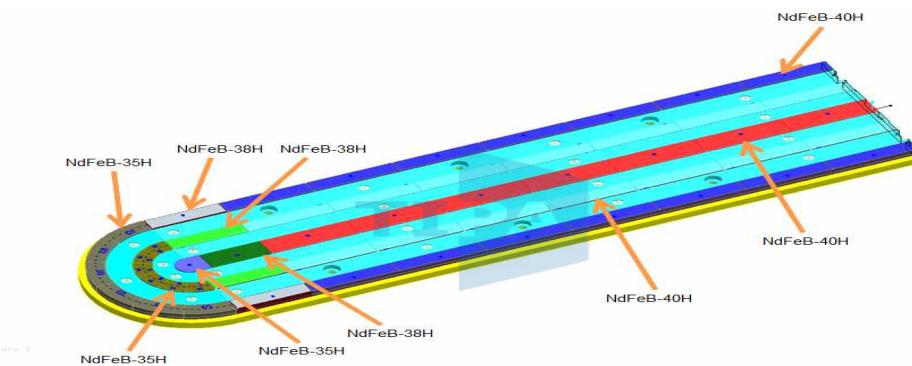
- B-field simulation



- Sputtering angle :  $18^\circ$

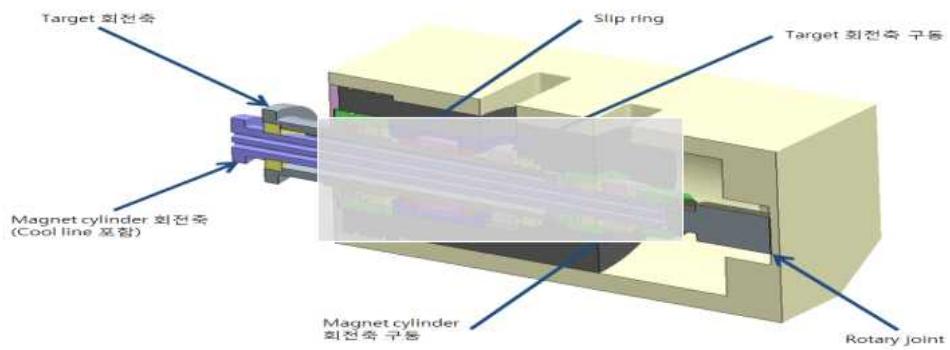


- Arrangement of Magnets

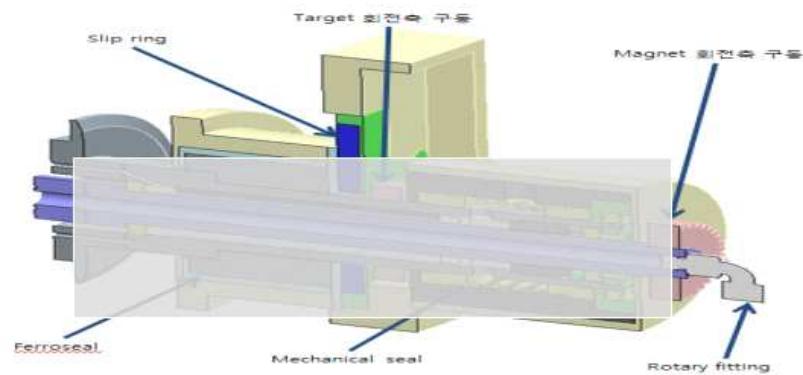


## (2) 개발 제품 모델링

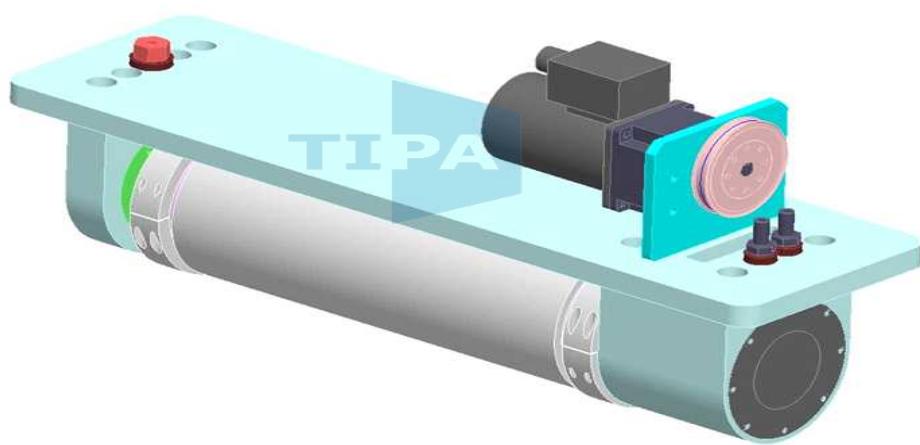
### (가) 동력 전달용 End block 1차 모델링



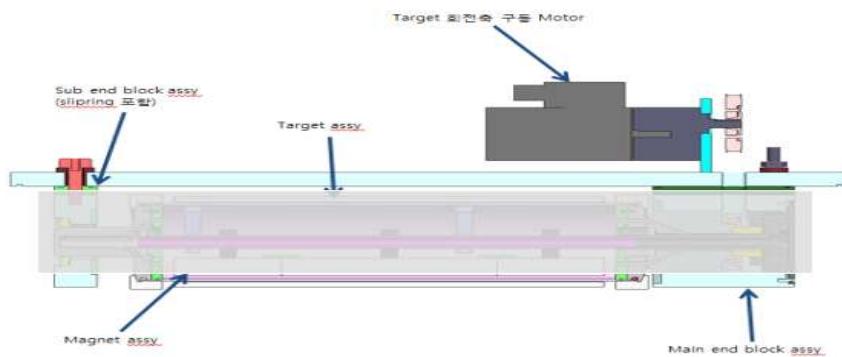
(나) 동력 전달용 End block 2차 모델링



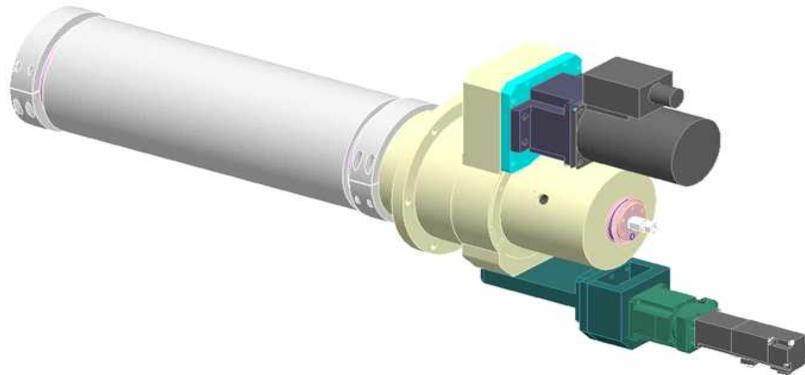
(다) Cylindrical Cathode 모델링 (Standard type 전체)



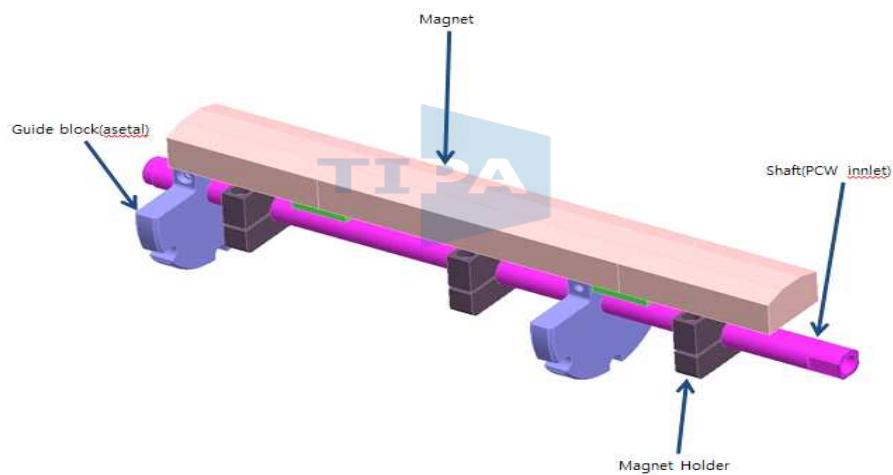
(라) Cylindrical Cathode 모델링 (Standard type 단면)



(마) Cylindrical Cathode 모델링 (Swing type 전체)



(바) Cylindrical Cathode의 Magnet assy 모델링 (Swing type)



(사) Cylindrical Cathode의 End block assy 모델링 (Swing type)



### (3) 개발제품 사양 비교

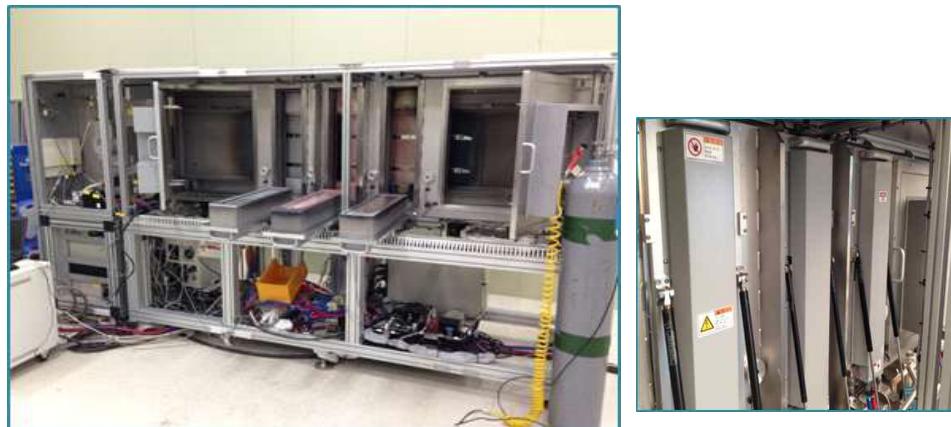
	CNI	GPI	Genco	Bekaert	ASI	SCI
Model	Swing cathode	Standard End Block	Side mount standard	ACV3 End Block	Side-Mount Cylindrical Cathode	Swing Cathode™
Schematic (Structure)						
Vacuum seal	Ferro-seal	Ferro-seal	Lip	Double dynamic vacuum seal (both water and vacuum) Lip / mechanical	Lip	Ferro-seal
Water seal	Mechanical	Mechanical	?	Mechanical	Lip	Mechanical(예상)
Slip ring	Horizontal Brush	Vertical Brush	?	Drum-type	Copper / Bruch assembly	?
Target utilization	> 85%	Standard > 80%	Standard 60% Dog bone 80%	75%	85%	80%(예상)
Depo. uniformity	±3%	±3%	±3%	±5%	?	?
Operating current	400A	400A	?	400A	?	1000V / 450A
End block size (L, mm)	224	204	200	Approx. 200	500	425
End support (L, mm)	-	compact 120	150	Approx. 100	-	-
Sputtering angle	18°	18°	30°	30°	30°(예상)	30°(예상)
Feature		No dog-boning	various mounting style	efficient performance in reactive sputtering (dual rotatable cathodes)	20% increase in Dynamic deposition rate Modular magnet design	Target size : up to 4,000

### 다. Cylindrical Cathode 선행 공정기술 개발

#### (1) Test 환경 구축

##### (가) 보유 스퍼터링(In-line Sputter) 장비 개조

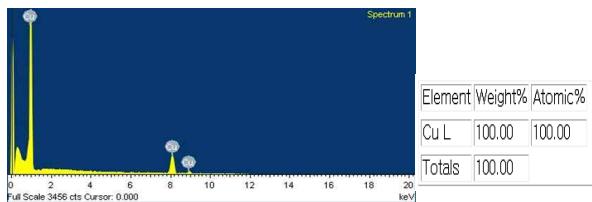
- 선행 test를 위해 총 3 개의 Cathode의 오링 교체.
- Door 및 기타 노후화된 오링 교체.
- 노후화된 타켓 및 파워서플라이 교체.



[그림 22. 개조 장비 전면 및 rectangular cathode 장착 상태 ]

### (나) 보유 스퍼터링 장비 성능 Test

- 기판(Si wafer) 위에 Cu를 증착하여 EDS 결과, Cu가 증착 확인함.

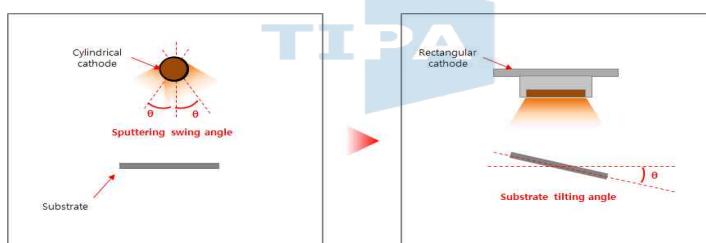


[그림 23. Cu 증착을 나타내는 EDS 결과]

### (2) Sputtering 입사각 Test

#### (가) Test 목적

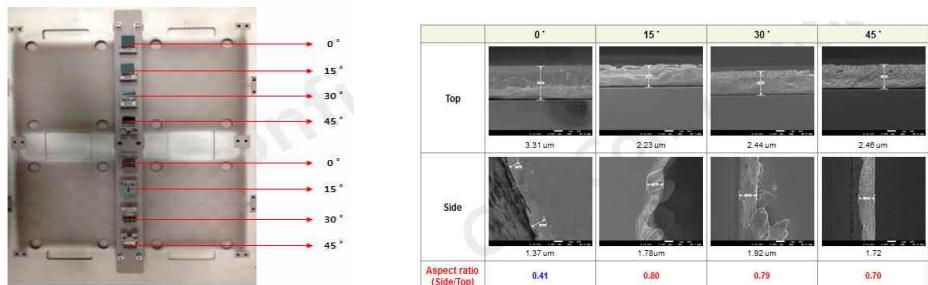
- 기존 장비의 sputtering angle 변경 제약에 따른 기판 tilting angle로 대체 평가.
- Sputtering angle 및 기판 tilting angle은 모두 sputtering 입사각과 관계됨.
- Cylindrical cathode의 Sputtering 입사각은 증착 박막의 step coverage와 uniformity에 관계되는 중요한 factor.



[그림 24. Sputtering 입사각 test 개념도]

#### (나) Test jig 및 결과

- 기판 tilting angle별로 test (0~45°, angle 간격 15°).
- 기판의 입사각에 따라 증착된 박막의 SEM 분석 결과 각도별 Aspect ratio(side/top)는 15°~30°영역에서 가장 좋은 결과 도출.



[그림 25. Test jig 장착 및 Sputtering 입사각별 test 결과]

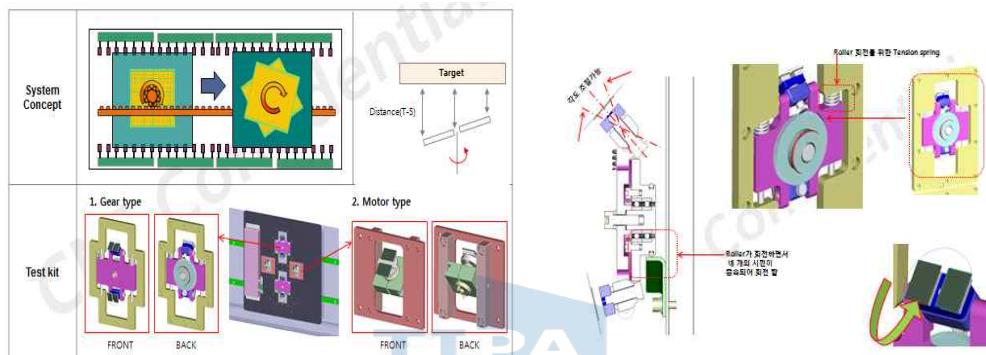
### (3) 기판 회전 Test

#### (가) Test 목적

- Cylindrical Cathode 설계/제작 및 Swing형 Cylindrical Cathode 적용에 앞서, Planar Cathode로 유사한 환경에서 기판을 tilting해서 uniformity와 step coverage 효과 사전 확인 필요.
- 대면적 박막 증착의 uniformity와 step coverage 향상을 위한 기판 회전.

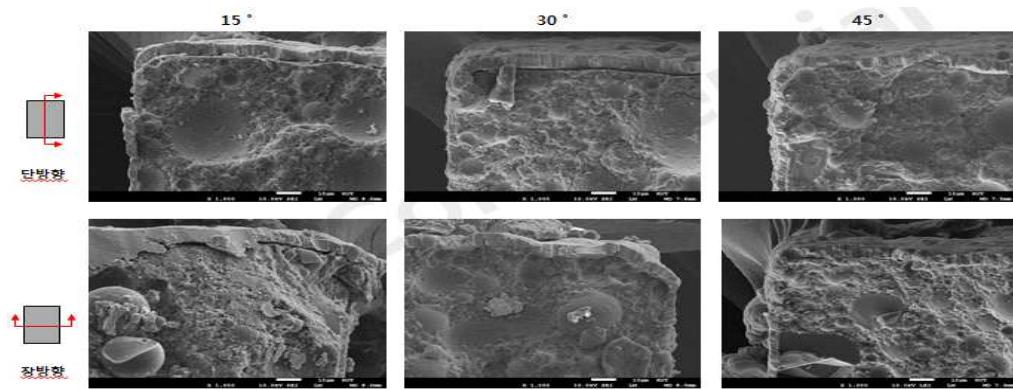
#### (나) Test kit 및 결과

- 기판의 회전 구현을 위해 별도의 회전 tray 및 Test kit 준비



[그림 26. 기판 회전 개념도 및 Test kit]

- 기판 회전하면서 박막 증착 결과 tray  $350 * 350 \text{ mm}^2$  내에서  $\text{uniformity} \leq 5\%$  이내 결과 도출.
- Aspect ratio(side/top)는 tilting angle  $30^\circ \sim 45^\circ$ 에서 0.55(55%) 이상.



[aspect ratio(단방향/장방향) 15° : 0.54/0.51, 30° : 0.55/0.55, 45° : 0.58/0.54]

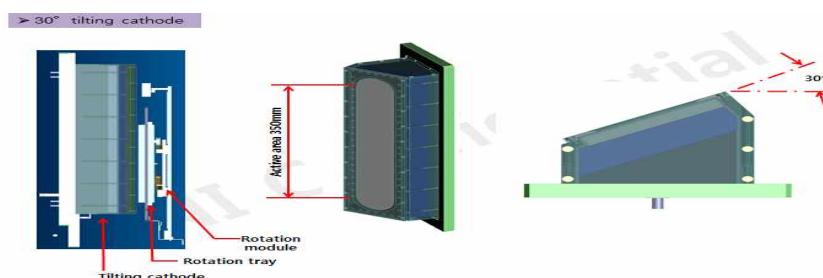
[그림 27. 기판 각도별 tilting 후 회전 Test 결과]

(4) 기판 전처리 및 기판 회전하면서 이동 진행 Test

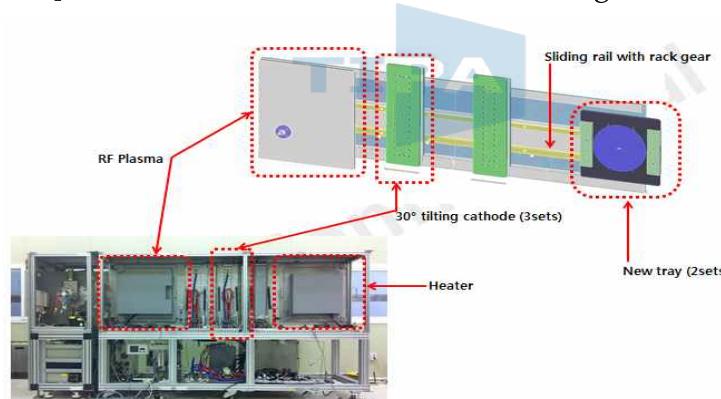
(가) Test 목적

- 박막 증착시 기판과 박막의 부착력 향상을 위해 Plasma treatment 전처리로 접촉각 test로 표면의 친수성 여부 확인.
- 사전 test에서 aspect ratio가 가장 우수한 Planar cathode의 tilting angle 30°에서 기판을 회전과 동시에 기판 이동하면서 박막 증착시 uniformity와 step coverage 상태 test.

(나) Test kit



[그림 28. Planar cathode의 30° tilting test 장치도]



[그림 29. 전처리 장치와 기판 회전하면서 이동 진행 장치도]

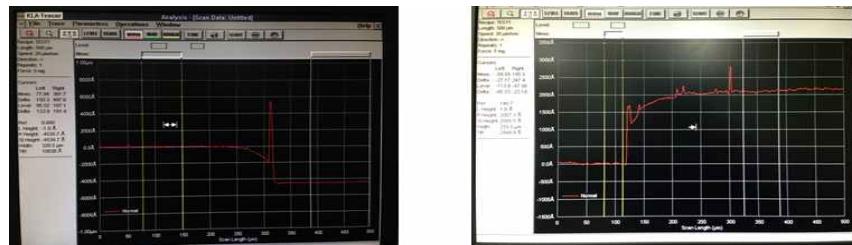
(다) Test 결과

- Plasma treatment 전처리 결과, 기판에 물방울 떨어뜨린 후 접촉각의 변화로 표면 개질이 되었음을 확인함.
- 접촉각 : high -> low



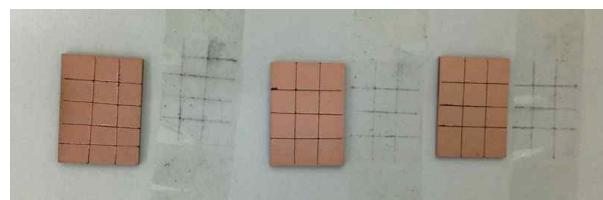
[그림 30. 전처리 전후의 기판 표면의 접촉각 변화]

- 기판 회전하면서 이동 진행 Test 결과 step coverage 향상 확인



[그림 31. 기판의 top(좌)와 side(우) 측정 사진 : aspect ratio 0.52]

- 박막 부착력 test 결과 부착상태 우수한 결과 도출

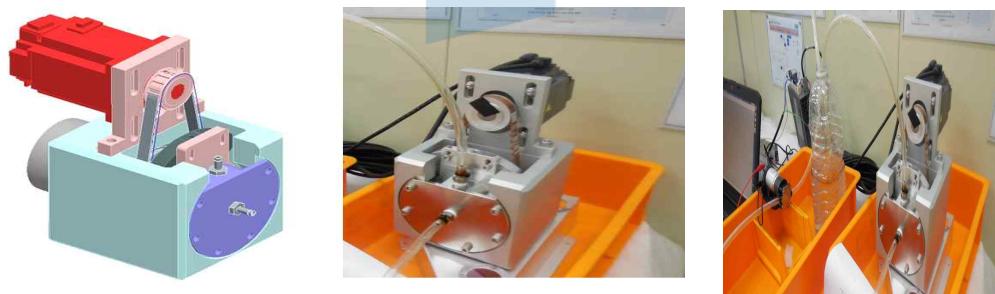


[그림 32. 기판의 부착력 test 사진 : peel off 없음]

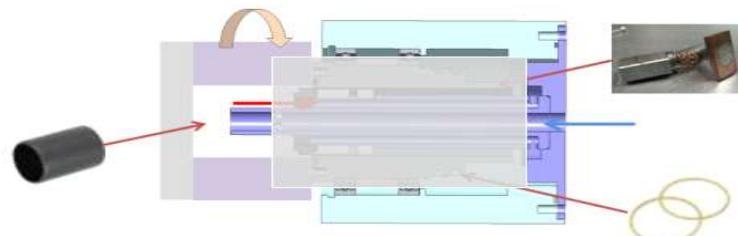
#### 라. Cylindrical Cathode 개발

##### (1) Cylindrical Cathode test Kit 제작 및 Test

###### (가) Test kit 모델링 (Standard type) 및 제작 사진



- 마찰 bush 회전 수명 test
- mechanical seal 수명 및 작동 test
- slip ring 전류 흐름 test
- 원형 벨트 작동 test



(나) Test Kit 실험 결과 (Standard type)

- ① 마모가 발생하여 냉각수 누수



- ② 무급유 bush 마모 발생



- ③ slip ring 마모 발생

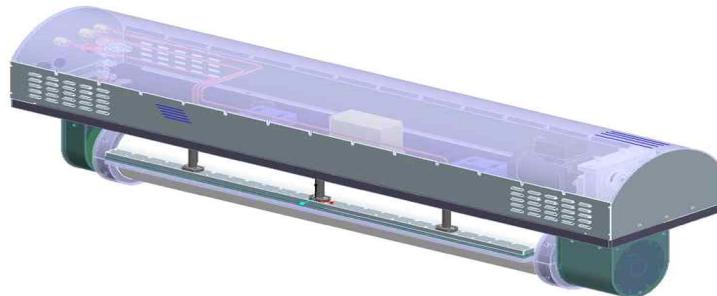


- ④ water block 누수 없음

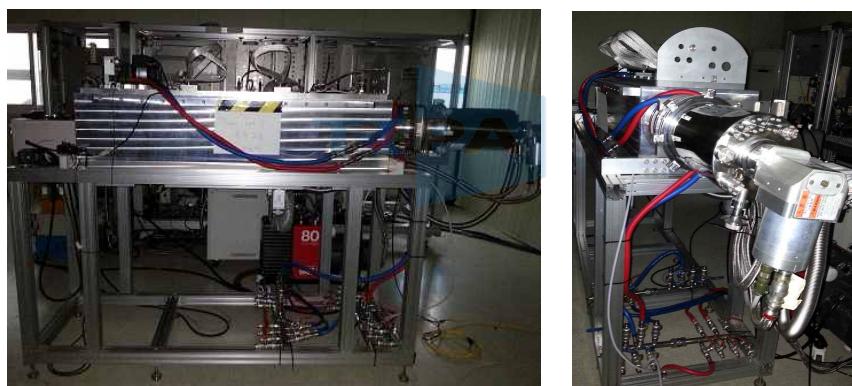


- (다) Test Kit 실험 결과 (Standard type)를 보완하여 개발  
 - 상기 test 결과 보완한 재설계 실시.

- (2) Cylindrical Cathode 제작(Standard type) 및 공정 test  
 (가) Cylindrical cathode 제작 모델링 (Standard type)

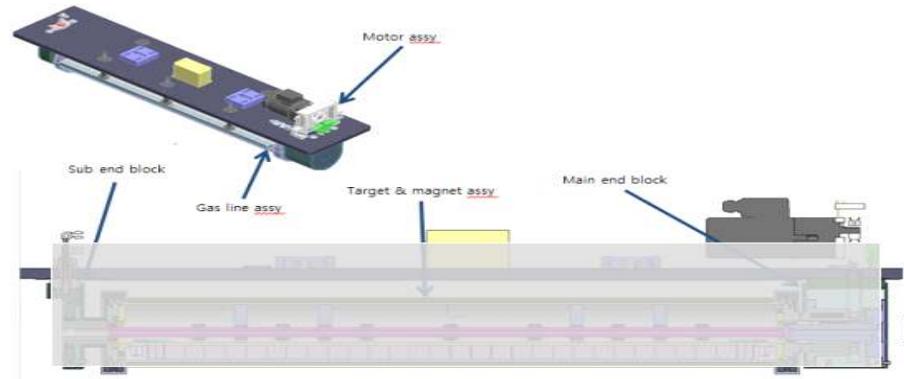


- (나) Cylindrical cathode 장치 제작 (Standard type)



[그림 33. Cylindrical Cathode 장치 정면 및 측면]

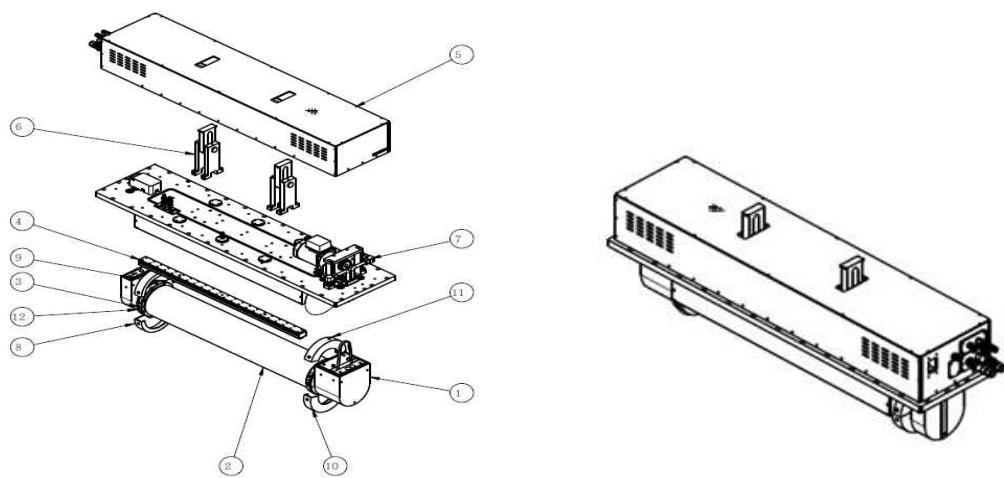
- (다) Cylindrical cathode 주요 개발 내용(Standard type)



- ① 동력전달용 main end block 개발
  - flange type, 진공 및 냉각수 sealing 등
  - 동력 전달(timing belt), interrock, magnet bar cooling 등
- ② Support end block 개발 (sub end block)
  - slip ring으로 회전체 power 공급 및 발열 방지 등
  - target 무게 지지를 위한 bearing 구조 등
- ③ 증착용 Target & magnet (bar) assy 개발
  - uniformity 향상을 위한 자장 설계(B-field design) 등
  - Sputtering angle 설정 등
  - dog-bone 방지 대책 등
- ④ Supporting gas 공급 line assy 개발
  - gas 분사 장치 등
- ⑤ 회전 동력 구동부 motor assy 개발
  - motor 선정, timing belt tension 등
- ⑥ 유지보수
  - 제작 및 유지보수 용이한 구조 등
  - target 탈부착 용이한 설계 등

(라) Cylindrical cathode 상세 개발 내용(Standard type)

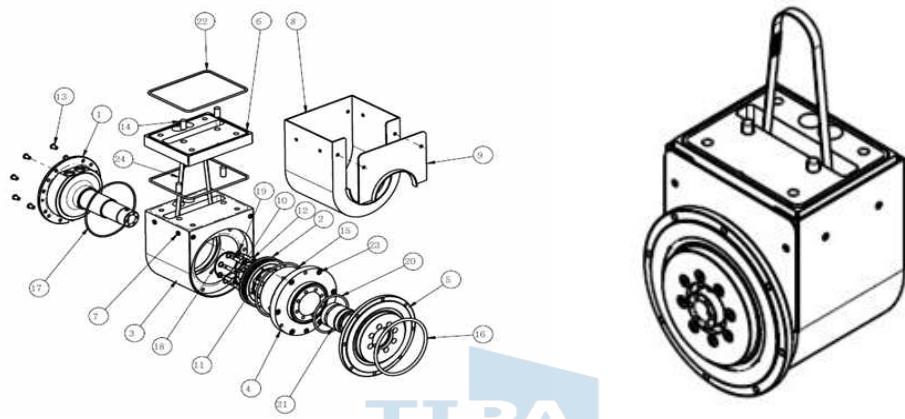
① 전체 조립도



NO	명칭	주요 기능
1	end block assy	Target 고정, 냉각수 공급 및 회전동력 구동부 포함
2	target assy	Target 및 magnet 포함
4	gas ring assy	증착에 필요한 각종 Gas 공급

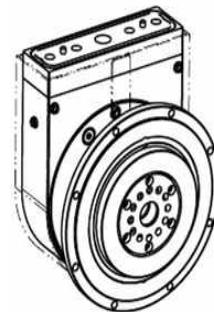
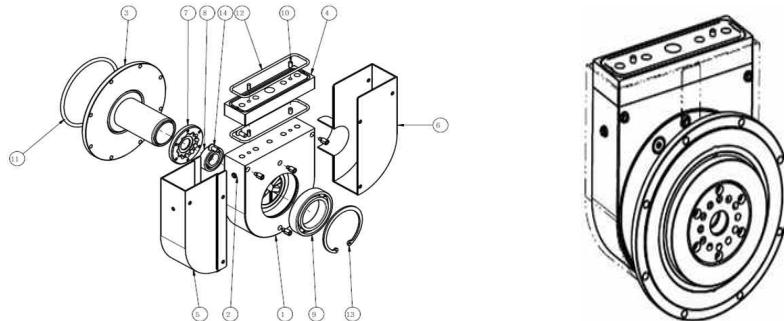
5	cover assy	상부 각 부품들의 안전 보호 및 배선, 배관용 panel이 포함된 cover
7	assy base plate module	구동부 및 end block 등 cathode 구성품을 고정하기 위한 base flange
9	support block assy	Target 고정 및 전원 공급을 위한 sub end block

## ② End block assy



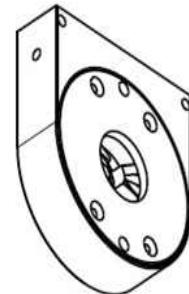
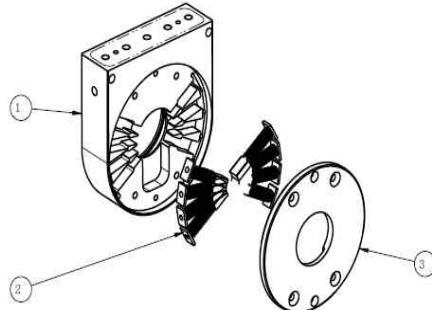
NO	명칭	주요 기능
1	water block	냉각수 공급, 배출 및 magnet assy 고정을 위한 부품
2	main shaft fully	Target 회전을 위한 pulley
3	base block	구동부 및 water block 고정을 위한 base block
4	ferroseal	진공과 대기와의 sealing 및 회전운동 전달을 위한 maget fluid seal
5	target flange	Magnet fluid seal과 target 회전운동을 전달하기 위한 부품
6	insulator	End block에 흐르는 전극이 base plate에 전달되지 않도록 하는 insulator
8,9	shield	End block을 보호하기 위한 shield
21	mechanical seal	냉각수를 sealing
24	fully belt	Target을 회전시키기 위한 pulley

### ③ Support block assy



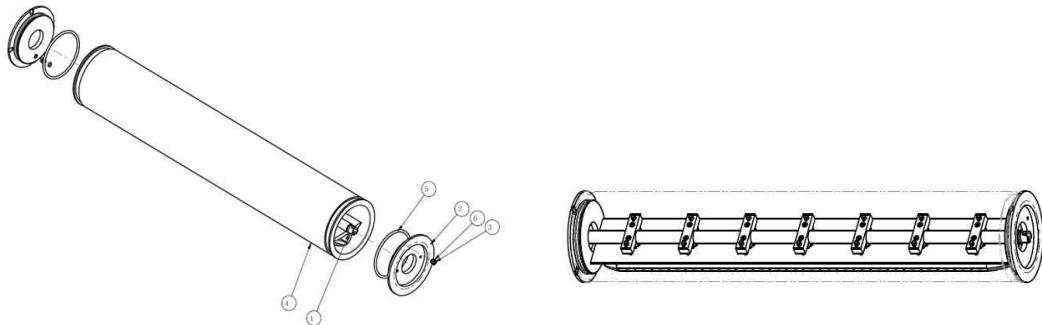
NO	명칭	주요 기능
1	base block assy	sub end block assy
3	target flange	전원 전달용 flange
4	insulator	end block에 흐르는 전원이 base plate에 흐르지 않도록 하는 insulator
5,6	shield	sub end block 보호용 shield
7	end cap	Bearing 고정용 cap

### ④ Base block assy



NO	명칭	주요 기능
1	base block	Carbon brush 고정 및 전원 공급을 위한 sub end block
2	carbon brush	회전체에 전원 공급용 carbon brush
3	end cap	Carbon brush 고정용 cap

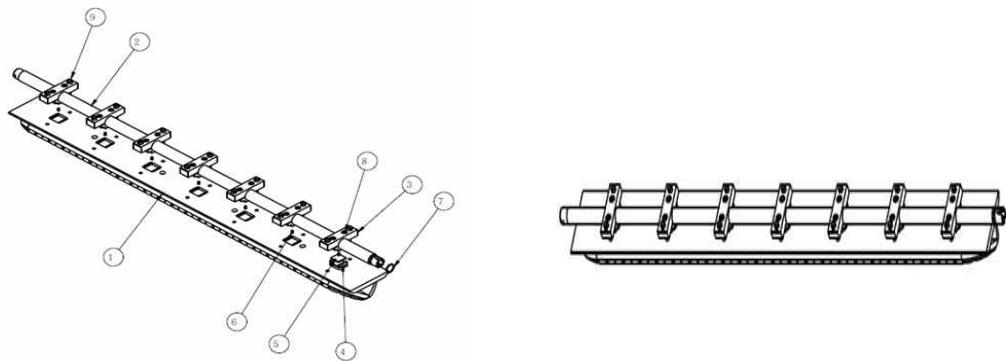
### ⑤ Target assy



NO	명칭	주요 기능
1	assy magnet unit	자기장 형성용 magnet assy
2	backing plate	냉각수 sealing용 부품
3	drain port	냉각수 배출용 port
4	target	증착용 재료(물질)

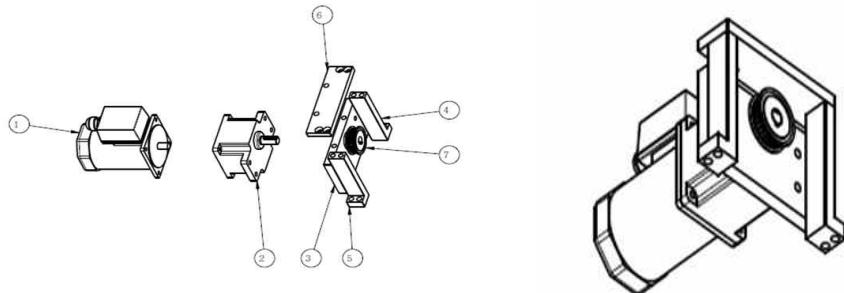


### ⑥ Magnet unit



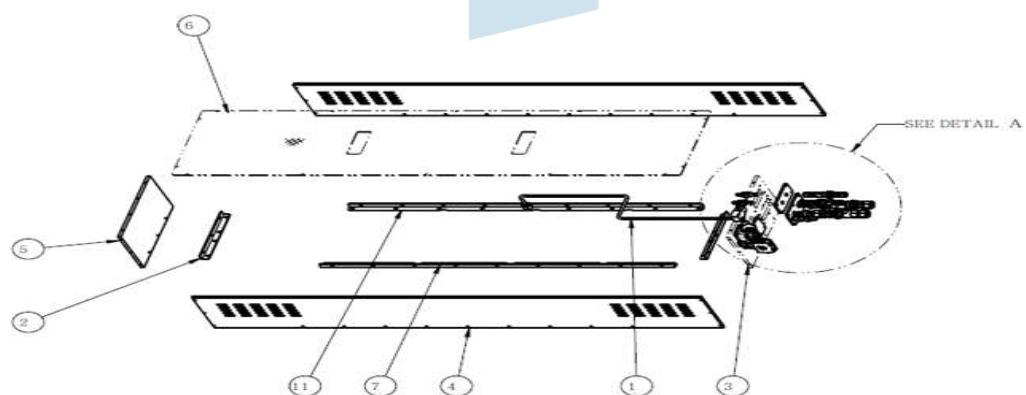
NO	명칭	주요 기능
1	assy magnet	자기장 형성용 magnet assy
2	shaft	Magnet 고정 및 각도 조절용 shaft
3	magnet holder	Magnet assy와 shaft 고정용 부품

### ⑦ Motor assy



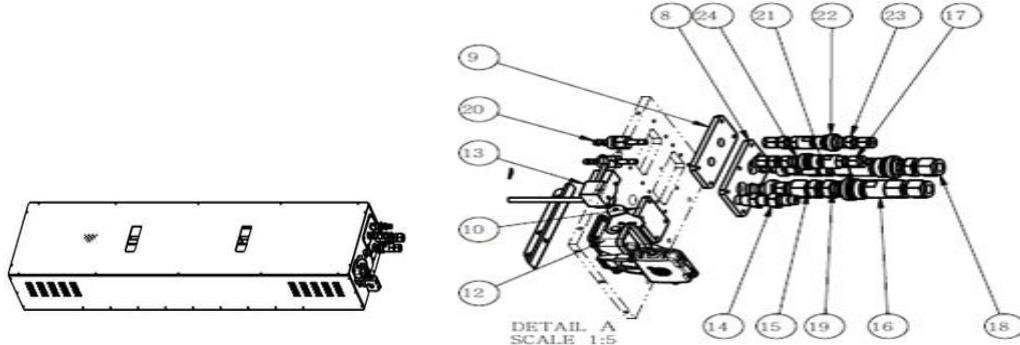
NO	명칭	주요 기능
1	ac motor	Target 회전용 motor
2	reducer	속도 조정
3	elevation plate	Motor 고정용 부품
7	timing pulley	motor 동력전달 pulley

### ⑧ Gas line & cover assy



NO	명칭	주요 기능
1	gas line	각종 Gas 공급용 tube
3	front panel	Gas 및 냉각수, 전원 공급용 cable이 포함된 U/T panel
4,5	side cover	측면, back cover
6	plate	상부 Check plate

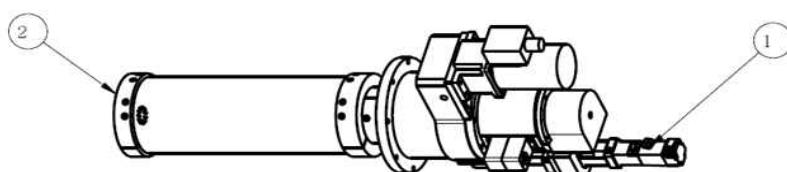
### ⑨ Cover assy



NO	명칭	주요 기능
8	connecter guide plate	Cathode 냉각수 공급용 quick connecter 고정용 부품
12	connecter box	Cathode 전극 및 센서 전원 및 신호 공급용 connenter
13	micro switch	Cover 열림 감지용 micro switch
14	bulk head union body	Gas tube 연결용 fitting
16,18	quick connecter	Cathode 냉각수 공급용 quick connecter

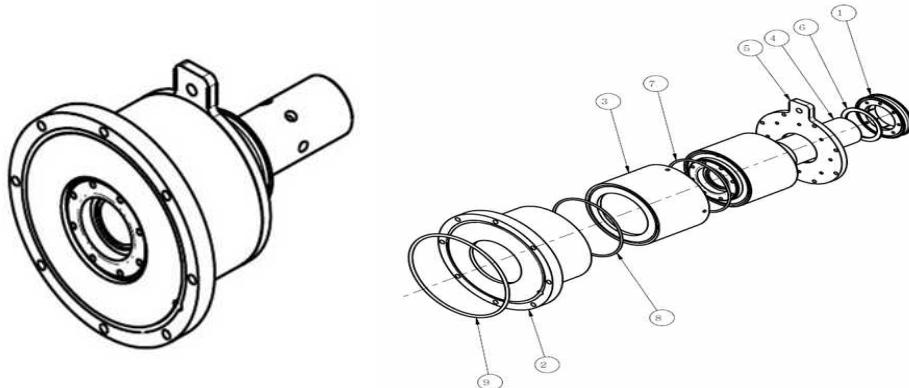
### (마) Cylindrical cathode 상세 개발 내용(Swing type)

#### ① 전체 조립도



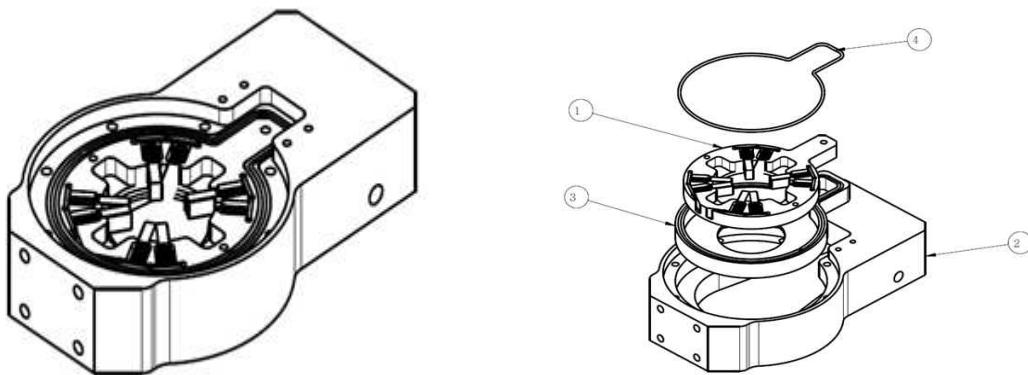
NO	명칭	주요 기능
1	assy end block	Magnet의 Swing을 위한 구동부가 장착되어 있는 module
2	assy target	자기장을 형성하는 magnet module과 충돌 target가 결합되어 있는 module.

## ② target rotation module



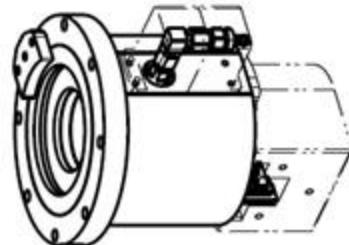
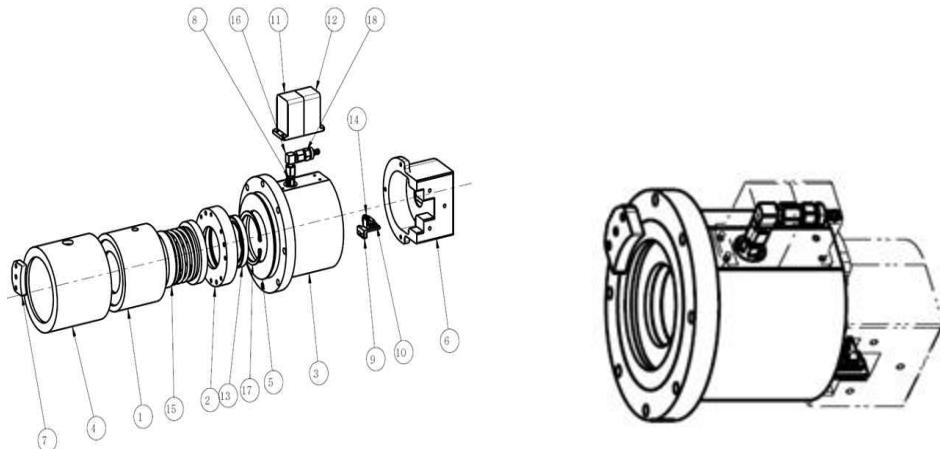
NO	명칭	주요 기능
1	assy timing pulley	Target를 회전시키기 위한 pulley
2	housing	각 부품들을 결합하고 Chamber에 부착하기 위한 flange
3	insulator	전원이 Cathode 외부로 흐르지 않게 하기 위한 insulator
4	magnetic fluid seal	Chamber와 외부 대기와의 sealing 및 회전 운동 전달
5	insulaor	전원이 Cathode 외부로 흐르지 않게하기 위한 insulator
6	ring	Carbon brush의 마모된 carbon 가루가 magnet fluid seal로 유입되는 것을 방지하기 위한 부품

## ③ slip ring module



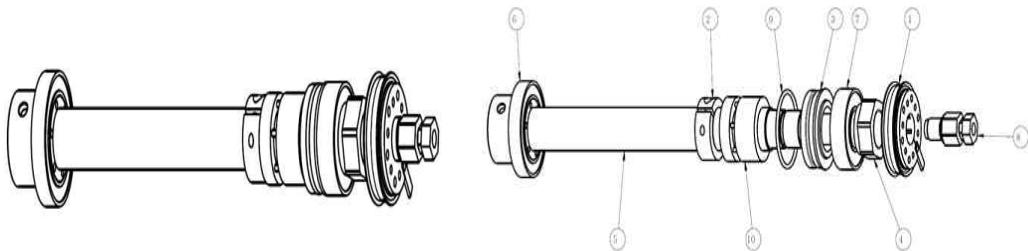
NO	명칭	주요 기능
1	assy electrode	target에 전원을 공급하기 위한 slip ring module
2	housing	Slip ring 고정용 base block
3	insulator	Slip ring module에서 base block으로 흐르는 전극을 막기 위한 insulator

#### ④ water seal module



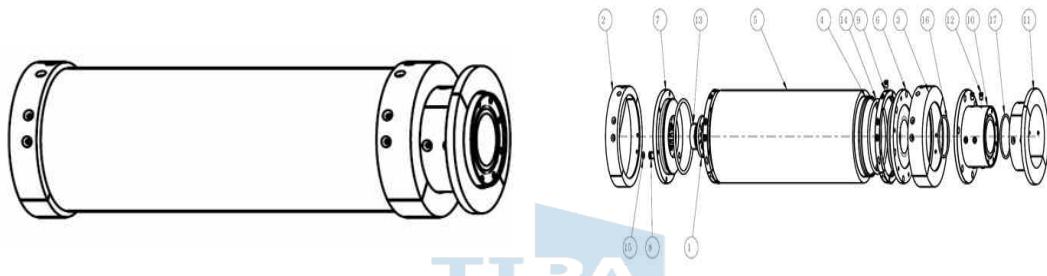
NO	명칭	주요 기능
1	oulder	외부로 배출되는 냉각수가 지나는 부품
2	oulder	Bearing을 고정하며 1번 부품의 한쪽을 막아 mechaseal에 예압을 주는 부품
3	housing outer	냉각수 배출구 부품들 의 base가 되는 housing
4,5	insulator	냉각수에 흐르는 전류가 외부로 흘러나가는 것을 방지하는 insulator
6	end cap	Magnet swing shaft 부분이 외부로 드러나지 않게 하기 위한 cap
13	bearing	회전축의 원활한 구동을 위한 bearing
14	sensor	Magnet의 회전각도 감지용 sensor
15	mechanical seal	냉각수의 sealing을 위한 mechaseal
16	elbow	냉각수에 흐르는 전류를 자단하기 위한 수지재질의 fitting
18	tube fitting	Fitting에 고압호스를 연결하기 위한 fitting

#### ⑤ swing module



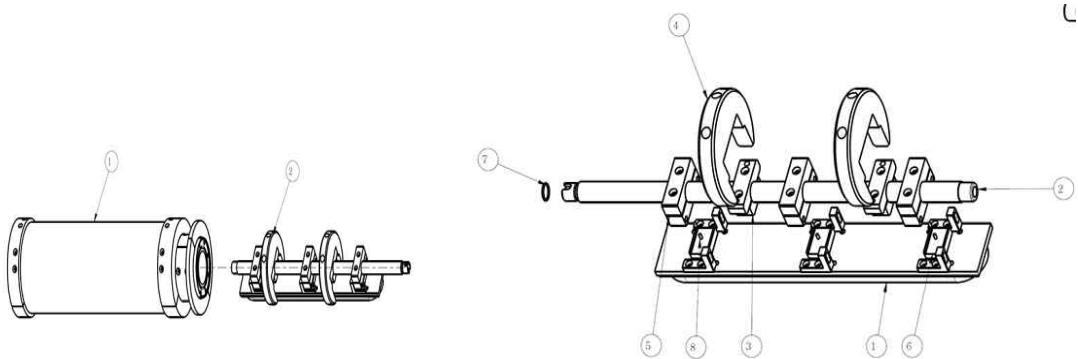
NO	명칭	주요 기능
1	assy fully	Magnet swing용 pulley
2	set collars	Mechaseal 밀림 방지용 setcollar
3	holder	Mechaseal 고정 및 냉각수 sealing용 부품
5	shaft	Magnet swing용 shaft
8	rotary fitting	회전하는 shaft 내부로 냉각수 공급을 위한 fitting
10	mechanical seal	냉각수 sealing용

## ⑥ target module



NO	명칭	주요 기능
1	bearing cap	Bearing 이탈 장비용 cap
4	backing tube	Target 고정용 backing tube
5	target	종착용 target
6	cap backing plate	냉각수 sealing 및 flange 고정용 부품
10	attach block	Target과 end block 간 거리 보정용 부품
11	shield backing plate	Attach block 부품의 보호를 위한 shield
12	shield insulator	Shield와 부품간의 전류 흐름을 막아주는 insulator
13	bearing	회전축 구동을 위한 bearing

⑦ assy magnet



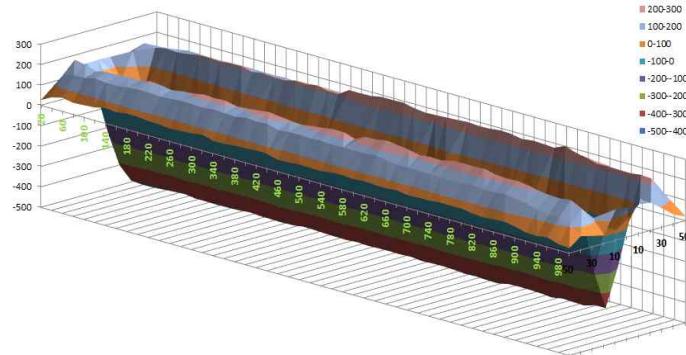
NO	명칭	주요 기능
1	magnet bar	자기장 형성용 magnet assy
2	shaft	Magnet swing 용 shaft
3	clamp road guide	Guide block를 shaft에 고정하기 위한 부품
4	guide block	Magnet assy 조립시 부품을 보호하고 조립이 용이하게 하기 위한 부품
5	clamp magnet holder	Magnet assy와 shaft 고정을 위한 부품
6	space yoke	Magnet assy와 고정용 부품간 거리를 유지하기 위한 부품

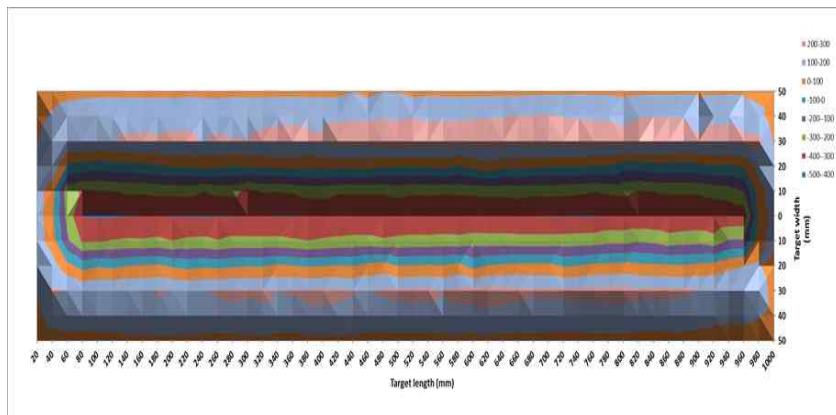
(바) Cylindrical cathode 공정 기술 개발 내용(Standard type)

① Cylindrical cathode target B-field profile

- center 자속밀도 : 약 400G

- edge 자속밀도 : 약 205G

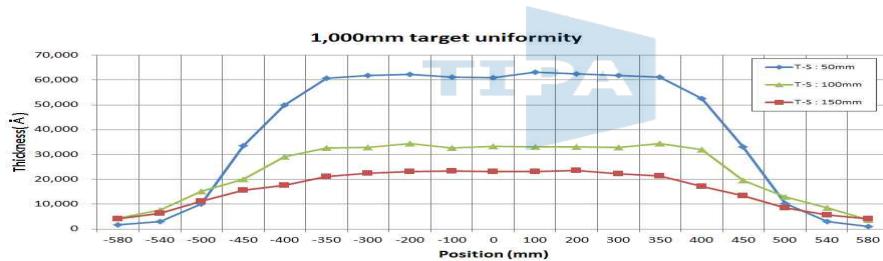




### ② Target uniformity (length direction)

- process condition : 3mtorr, 5kw

Distance(T-S)	700mm	800mm
<b>50mm</b>	1.83%	11.58%
<b>100mm</b>	2.70%	8.66%
<b>150mm</b>	5.42%	15.92%

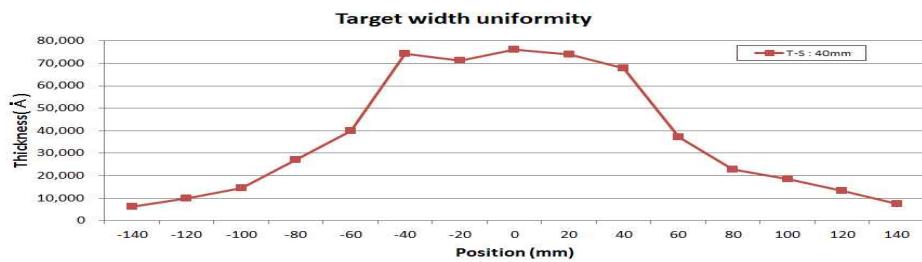


### ③ Target uniformity (width direction)

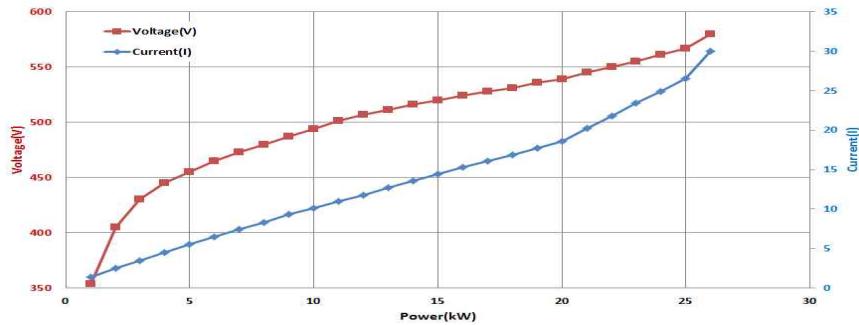
- process condition : 3mtorr, 5kw

- sputtering angle : 35°

Distance(T-S)	80mm	120mm
<b>40mm</b>	5.87%	53.87%



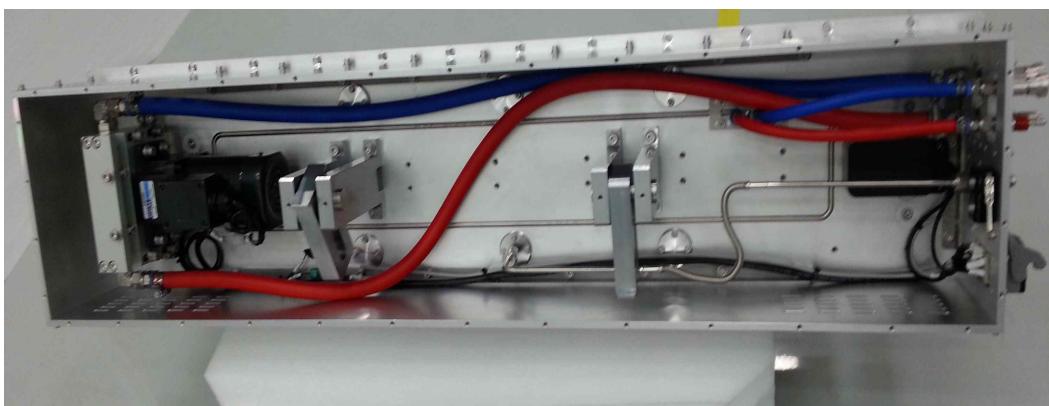
#### ④ power supply test



(사) Cylindrical cathode 개발 제품 사진



[그림 34. Cylindrical cathode 외관]



[그림 35. Cylindrical cathode의 base plate module]



[그림 36. End block(좌) Support block(우)]



[그림 37. Motor assy(좌) Timing pulley(우)]



[그림 38. Magnet unit ]



[그림 39. target module]



[그림 40. target]



[그림 41. Swing형 Cylindrical cathode 외관]

마. 제품 성능 향상을 위한 개발 내용

(1) Magnet bar tilting 개발

(가) Test 조건

- substrate : Si wafer
- target : Al
- power : 4kw, 30min.
- base pressure : 1.21e-5 Torr
- working pressure : 3 mTorr
- length area1 : -400mm~+400mm(interval:100mm)--T/S : 50mm
- length area2 : -400mm~+400mm(interval:100mm)--T/S : 56mm



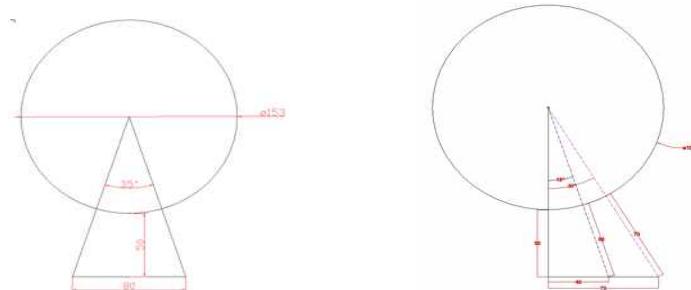
[그림 42. 장비 증착시 plasma 사진]



[그림 43. test전 샘플(좌) test후 샘플(중) 불량샘플(우)]

(나) Magnet bar 30° tilting

- Sputtering angle 35° 영향 Test
- target width direction 40mm 지점 기판 설치 : 약 18°



[그림 44. substrate length area1: 0°(좌), length area2: 약 18°(우)]

## (다) Target uniformity test

Distance(T-S)	600mm	800mm
50mm(0도)	3.27%	3.27%
56mm(18도)	2.92%	2.92%



## ① T/S 50mm(tilting 0°) uniformity 3.27%

- length area -400mm ~ +400mm에서 고른 두께 분포와 sputtering angle 35° 효과 확인
- tilting 30° 와 step coverage 효과 확인

## ② T/S 56mm(18°) uniformity 2.92%

- length area : -400mm ~ +400mm에서 <±3% 목표 만족

## (라) Magnet bar tilting 30° test 결과

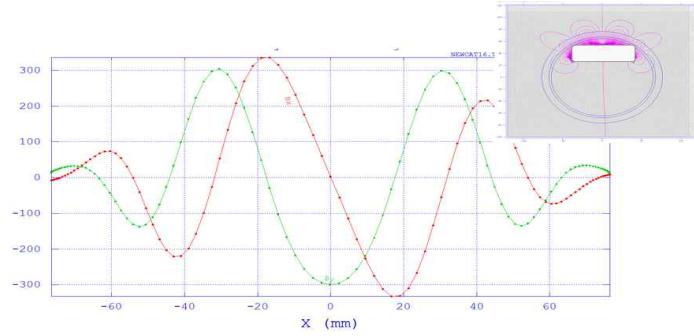
- Magnet bar(3열) tilting 30°시 uniformity 2.92%로 목표 만족 결과를 확인하고 sputtering angle 35°내에서 유사한 uniformity 분포 확인.
- 대면 sputtering보다 유효각내 tilting 시 sputtering 유효 면적 확대와 step coverage 향상 가능성 확인함.

## (2) Dual magnet bar 개발

## (가) B-field simulation

- 6열 magnet 배열, 극성을 번갈아 가면서 적용(최대G=300)
- Magnet Grade : NdFeB-N40H  
(잔류자속밀도 Br - 13200, 보자력 bHc - 11800)
- Target Size : R 76.5mm

- Yoke 각도는 Center 기준 각각 30°



#### (나) Dual magnet bar(Dual 1st) 제작



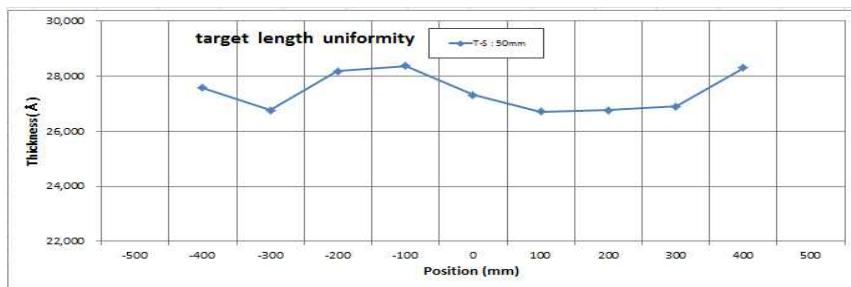
#### (다) Test 조건



- substrate : Si wafer
- target : Al
- power : 4kw, 30min.
- base pressure : 1.23e-5 Torr
- working pressure : 3 mTorr
- length area : -400mm~+400mm(interval:100mm)--T/S : 50mm
- wide area : -120mm~+120mm(interval:100mm)--T/S : 가변

#### (라) Target uniformity test(length direction)

Distance(T-S)	600mm	800mm
50mm	3.00%	3.00%
MAX/MIN	28,364/27,714	28,364/27,714

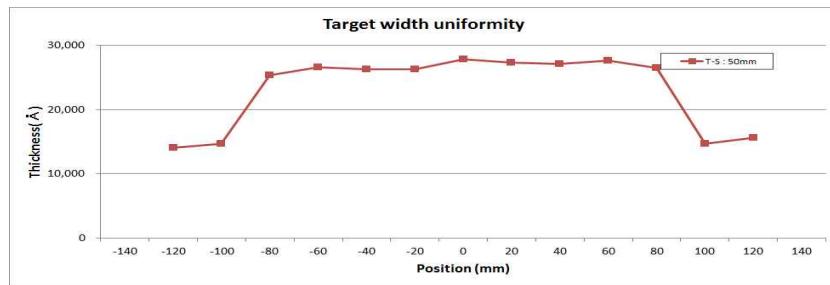


① T/S 50mm일 때 uniformity 3.00%로  $<\pm 3\%$  목표 만족

- length area : -400mm ~ +400 mm
- 3배열 magnet bar uniformity 2.77%와 비슷한 결과 도출.
- 3배열 magnet bar 대비 증착 영역 2배 확대 확인.

#### (마) Target uniformity test(width direction)

Distance(T-S)	Width 80mm	Width 120mm
가변	2.91%	2.91%
MAX/MIN	28,947/26,447	28,947/15,187



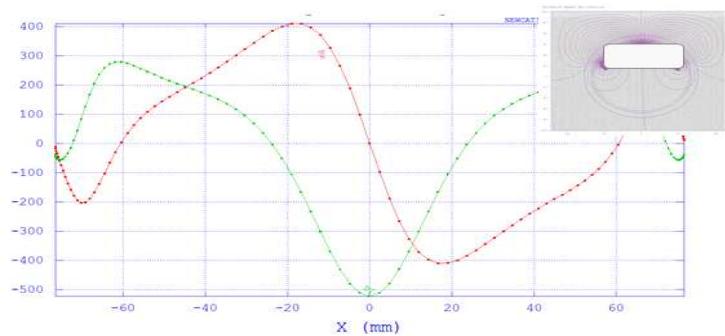
① width 120mm일 때 uniformity 2.91%로  $<\pm 3\%$  목표 만족

- width area : -60mm(-35°) ~ +60mm(+35°)  
(sputtering angle 70°)
- 3magnet bar uniformity 2.77%과 비슷한 결과 도출
- 3magnet bar와 비교시 sputtering angle 70°로 2배의 광폭 증착영역 확대, 증착효율과 step coverage 효과 향상.

#### (3) 광폭(Wide) magnet bar(Dual 2nd) 개발

##### (가) B-field simulation

- Magnet Flat 면에 대한 B-field 해석하여 광역의 최대 By 형성.
- Magnet Center By=520G.



## (나) Test 조건

- substrate : si wafer
- target : Al
- power : 5kw, 30min.
- base pressure : 1.23e-5 Torr
- working pressure : 3mTorr
- length area: -400mm~+400mm(interval:100mm) -- T/S : 50mm
- width area : -120mm~+120mm(interval : 20mm) -- T/S : 가변

## (다) Target uniformity test(length direction)

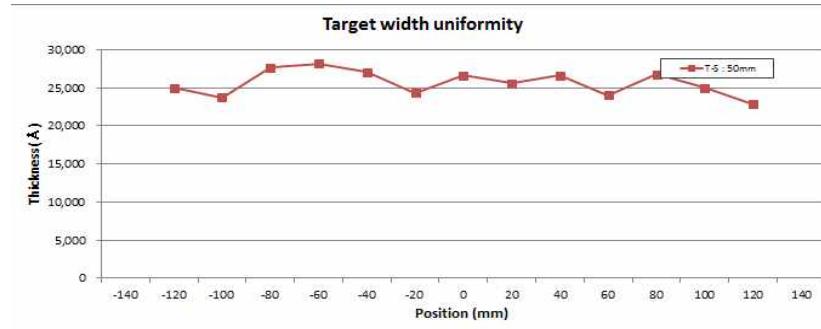
Distance(T-S)	600mm	800mm
50mm	3.95%	3.95%
MAX/MIN	26,782/24,746	26,782/24,746



- ① T/S 50mm일때 uniformity 3.95%로  $\pm 3\%$  목표에 미치지 못했지만 근접한 uniformity 확인.
- length area : -400mm ~ +400 mm

## (라) Target uniformity test(width direction)

Distance(T-S)	Width 80mm	Width 120mm
가변	5.23%	7.95%
MAX/MIN	27,037/24,000	28,147/24,000



① width 80mm 일때

- width area : -40mm ~ +40mm
- uniformity 5.23%으로 타 magnet bar에 비해 좋지않으나
- sputtering angle이 2배 광폭으로 length, width 전체적으로 고른 증착 영역 확보와 증착율 향상의 효과를 보여 구조를 보완하면 uniformity를 개선하면 우수한 cathode가 될 것으로 예상.



### 3. 개발 목표항목 달성도 평가방법 및 평가결과

<표 4> 목표달성도 평가지표 및 평가결과

주요 성능지표 <sup>1)</sup>	단위	최종 개발목표 <sup>2)</sup>	평가 결과(측정값)	판정
1. Erosion efficiency	%	> 85	87.28	ok
2. Leak rate	torr.l/sec	< 5E-9	1.4E-9	ok
3. Uniformity	%	<±3% on 200X200 glass	1.55%~2.71%	ok
4. Power density	W/cm <sup>2</sup>	12	17.4	ok
5. Target life time	kWh	> 400	432	ok
6. Depo rate	Å.m/s	30	36.05	ok

#### 가. Erosion efficiency

##### (1) 목표달성도 평가방법

- Sputtering하기 전의 타겟의 무게와 Sputtering 후의 타겟의 무게 비를 비교하여 평가.
- 400Kwh 이상 사용한 타겟의 무게 측정.
- Erosion efficiency 계산.  
(스퍼터링 완료된 타겟 무게 / 초기 타겟 무게) × 100%

##### (2) 평가결과

###### (가) Erosion efficiency 계산

- ① 스퍼터링 완료된 타겟의 무게 = 타겟 전체 무게(Backing tube 무게 + 스퍼터링 완료된 Target 무게) - Backing tube 무게
- ② 초기 타겟 무게 = 타겟 전체 무게(Backing tube 무게 + 스퍼터링 전의 초기 Target 무게) - Backing tube 무게

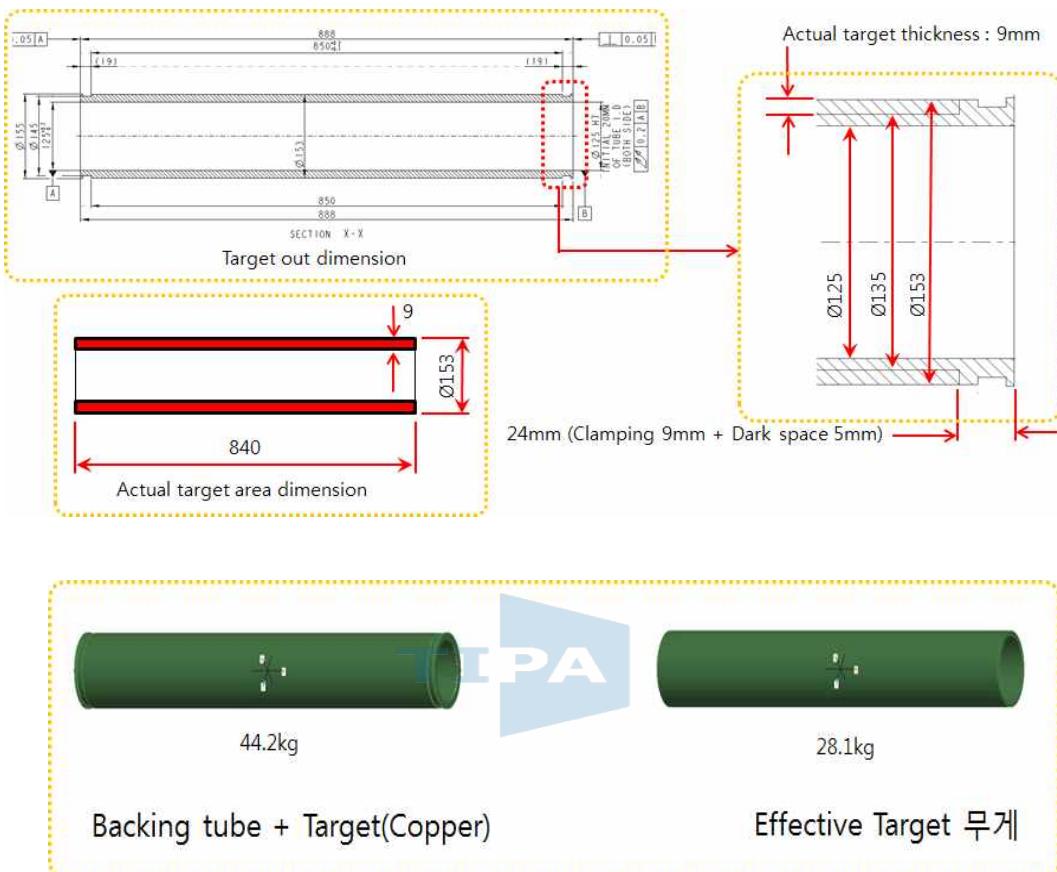
###### (나) 타겟 dimension & 무게

- ① 타겟 사용 효율 산정을 위한 타겟 디자인 검토 자료를 아래 [그림45]에 나타냄.
- ② 타겟의 사용 효율을 계산하기 위해 디자인된 타겟으로부터 사용 전의 타겟 무게와 사용후에 계산되어야 할 타겟의 dimension을



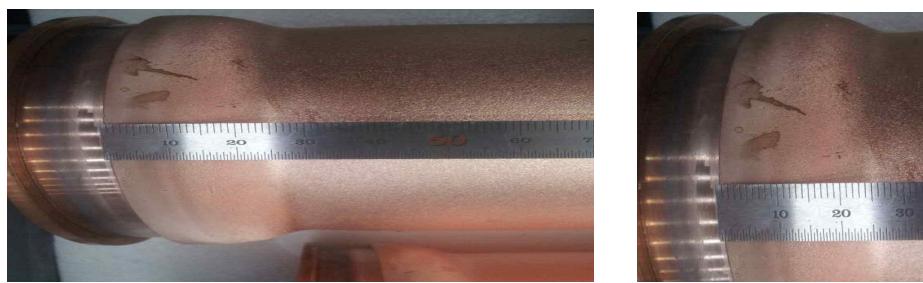
산출.

- ③ 타겟 디자인으로 확인된 사용 타겟의 총 무게는 28.1kg.



[그림45. 타겟 디자인 검토]

- ④ Full erosion 된 타겟은 [그림 46]와 같고 Side에 Sputtering 되지 않는 부분이 약 10mm 됨.



[그림46. Full erosion된 타겟]

⑤ Full erosion된 타겟을 [표 5]과 같이 계산.

<표 5> 실제 타겟 사용값 및 효율 계산

항목	측정값	단위
사용전 타겟 외경(a)	153	mm
사용후 타겟 외경(b)	138.2	mm
사용전 타겟 길이(c)	840	mm
사용후 타겟 길이(d)	798	mm
사용전 타겟 무게(e)	28.1	kg
사용후 타겟 두께(f)	7.4	mm
$f = (a-b)/2$		
사용한 타겟 무게(g)	24.5	kg
타겟 사용 효율 $=g/e \times 100$	87.28	%

#### 나. Leak rate



##### (1) 목표달성도 평가방법

- 제작 완료된 제품을 진공 챔버에 장착.
- 진공을 유지 한 후 냉각수를 공급하고 타겟을 회전시키면서 Leak rate 측정.
- 헬륨 Leak detector에서 감지되는 leak rate  $\geq 5E-9$  torr.l/min 이하에서 감지되지 않을 것.

##### (2) 평가결과

###### (가) Leak rate 측정

- ① 제작 완료된 제품(cylindrical cathode)를 공정용 sputtering chamber에 장착 한 후 헬륨 Leak Detector를 이용하여 누설 검사 실시.
- ② 제작 완료된 제품을 고진공 챔버에 장착 하는 모습[그림47]



[그림47. Cylindrical Cathode를 진공 챔버 장착]

- ③ 고진공 챔버에 Cylindrical Cathode를 장착하고 진공 pump로 pumping한 후 타겟을 회전하면서 챔버에 헬륨 가스를 도포하고 헬륨 leak detector에서 헬륨 가스를 감지 하는지 확인.
- ④ 이때 Detector에서 5E-9 torr.l/min 이하에서 헬륨 가스가 감지되지 않으면 leak가 없는 것으로 판단.
- ⑤ 아래 [그림48]은 헬륨을 도포하였을 때 헬륨 가스 반응을 나타낸 것으로 1.4E-9 torr.liter/min에서 헬륨 가스가 감지되지 않아 leak가 없는 것으로 판정.



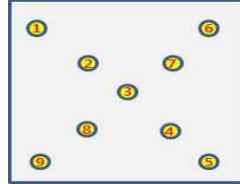
[그림 48. 헬륨 leak 측정]

#### 다. Uniformity

##### (1) 목표달성도 평가방법

- 200mm x 200mm Glass 기판에 Copper를 증착.
- 9point 의 두께를 Surface profile을 이용 측정.
- Uniformity 계산.

$$(Max-min)/(Max+min) \times 100 (\%)$$



[두께 측정 위치]

##### (2) 평가결과

###### (가) Uniformity 측정

- ① 200mm x 200mm 기판(트레이)에 대각선으로 두께 측정용 샘플을 9개 부착하고 스퍼터링을 진행함.

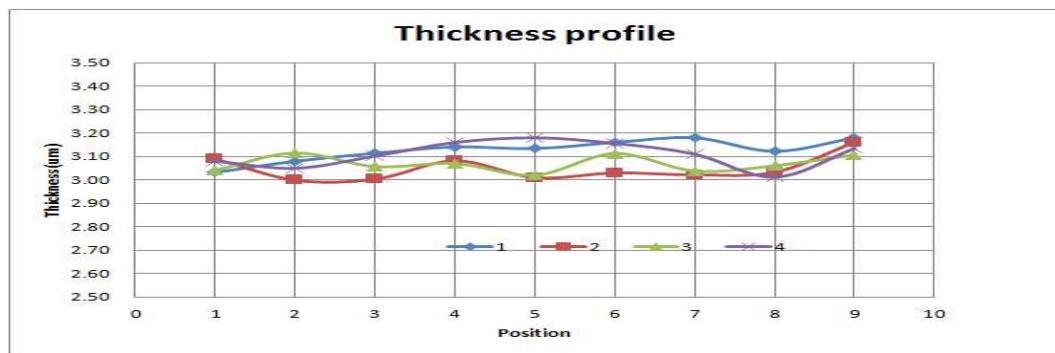
- ② 스퍼터링시 기판을 스캔하였으며 스캔 속도는 1mm/s 10회 진행.
- ③ 스퍼터링을 위한 공정 가스는 Ar 가스로 진행하고 압력을 5m torr 를 유지함.
- ④ 스퍼터링 파워는 7kw를 인가.
- ⑤ 측정 기판(트레이)은 총 4번 진행하고 매회 기판에서 두께는 9 point 측정.
- ⑥ 두께 측정은 surface profiler를 이용하여 측정함.
- ⑦ 두께 측정 결과는 [표6]에 나타냄.
- ⑧ 두께 profile은 [그림 49]에 나타냄.

<표6> 두께 측정 결과

측정포인트 \ 기판수	1	2	3	4
1	3.03	3.09	3.04	3.08
2	3.08	3.00	3.12	3.05
3	3.11	3.00	3.06	3.10
4	3.14	3.08	3.07	3.16
5	3.13	3.01	3.02	3.18
6	3.16	3.03	3.11	3.16
7	3.18	3.02	3.04	3.11
8	3.12	3.03	3.06	3.01
9	3.18	3.16	3.11	3.13
평균값(um)	3.13	3.05	3.07	3.11
표준편차	0.05	0.05	0.03	0.06
범위(um)	0.15	0.16	0.10	0.17
최대값(um)	3.18	3.16	3.12	3.18
최소값(um)	3.03	3.00	3.02	3.01
Uniformity(±%)	2.38	2.61	1.55	2.71

⑨ 두께 측정 결과 Uniformity는 ± 1.55 % ~ 2.71%임.

⑩ 평균 uniformity는 ± 1.3%임.



[그림 49. 두께 profile]

## 라. Power density

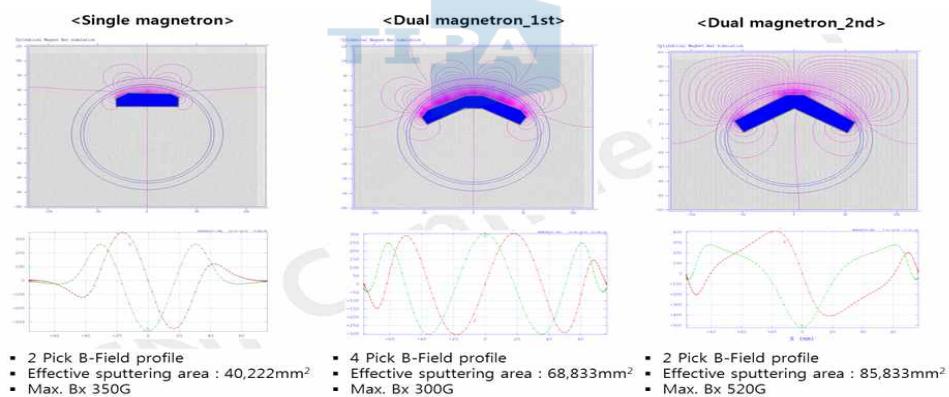
### (1) 목표달성도 평가방법

- Power supply에서 인가되는 Power 값으로부터 계산함.
- Power density : 타겟에 인가된 Power(W)/ Target의 단면적( $\text{cm}^2$ )
  - \* Target의 단면적은 Plasma 발생 영역임.

### (2) 평가결과

#### (가) Magnet bar design

- ① Power density 향상을 위해서 3가지 타입으로 개발하여 Simulation 진행.
- ② Magnet type별로 Plasma 면적이 바뀌며 이로 인해 Power density 를 달리 할 수 있음.
- ③ [그림 50]은 각 Single magnet, Dual magnet(Dual 1st), 광폭(Wide) magnet(Dual 2nd)의 type으로 Magnet B- field Simulation 한 결과를 나타냄.
- ④ Dual magnet(Dual 1st), 광폭(wide) magnet(Dual 2nd)은 Plasma 면적을 크게하여 고 Power를 인가하기에 유리하게 디자인함.



[그림 50. Single, Dual, 광폭(Wide) magnet의 B- field Simulation 결과]

Cathode	B-field	Effective sputtering area	Power density ( $\text{W/cm}^2$ )
Single	2 Pick with Max. Bx 350G	40,222 $\text{mm}^2$	17.4(7kw)
Dual(1 <sup>st</sup> )	4 Pick with Max. Bx 300G	68,833 $\text{mm}^2$ (170%)	11.9KW
Dual(2 <sup>nd</sup> )	2 Pick with Max. Bx 520G	85,833 $\text{mm}^2$ (213%)	14.91kw

[그림 51. Magnet 타입별 Plasma 면적과 B-field profile]

⑤ [그림 51]와 같이 Single magnet의 경우 최대 7kw 인가 할 수 있으며,

Plasma 면적의  $402\text{cm}^2$ 로  $17.4\text{W/cm}^2$ 의 Power density를 나타냄.

#### 마. Target life time

##### (1) 목표달성도 평가방법

- 타겟이 초기에서 교체 시점까지 사용한 시간을 계산함.
- Power supply에서 인가된 Power와 사용 시간의 곱으로 표기함.
- 예) 10KW의 Power로 40시간 사용 :  $10\text{KW} \times 40\text{hr} = 400\text{Kwh}$
- Power supply의 data log값으로 분석함.

##### (2) 평가결과

###### (가) Target life time 측정

- ① 인가 Power는 7kw와 10kw로 연속 공정을 진행.
- ② 인가 Power 10kw일 때는 Plasma density 및 Plasma 면적의 적어 안정적으로 장시간 운영하기 어려움.
- ③ 인가 Power를 단계적으로 9kw에서 다시 7kw로 Down 시켰으며, 7kw 이하에서 안정적으로 sputtering이 진행 됨.
- ④ 7kw, 10kw, 9kw power에서 56시간 40분 연속 공정 진행.
- ⑤ [그림 52]은 타겟 사용 시간과 인가 power를 나타낸 것으로 총 타겟 사용량은 432 kw-h임.



[그림52. Magnet 탑별 Plasma 면적과 B-field profile]

#### 마. Depo. rate

##### (1) 목표달성도 평가방법

- 기판을  $1\text{m/min}$ 의 속도로 Cathode를 지나치며 이송함.
- 스퍼터링을 하면서 기판에 증착시킴.
- 기판에 증착된 증착 두께를 Surface profiler를 이용하여 측정.
- 증착 속도는  $\text{\AA}/\text{min}$ 으로 나타냄.

##### (2) 평가결과

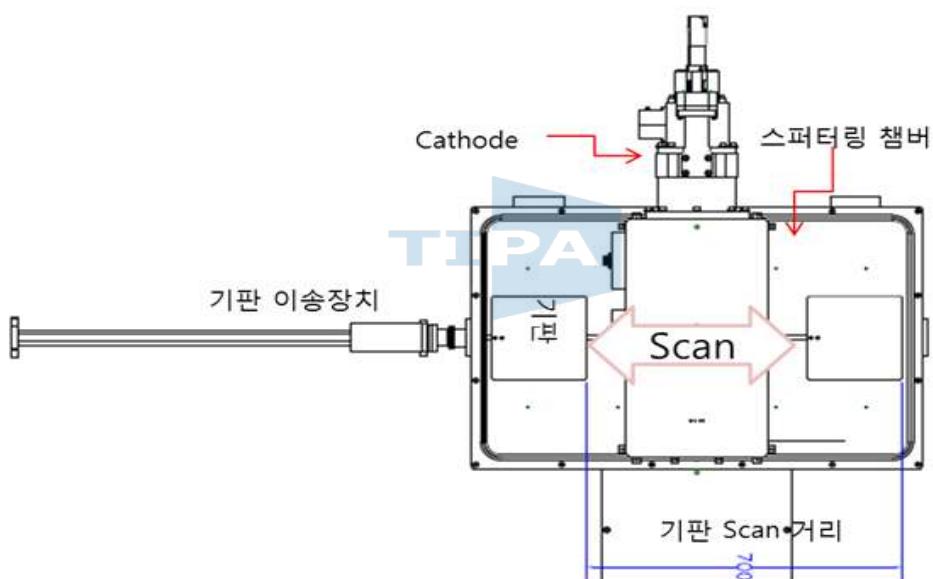
### (가) Depo. rate 측정

① 측정용 스퍼터링 장치를 [그림53]에 나타냄.

② 측정 조건

- Target material : copper
- 인가 Power : 7kw
- 기판 scan : 700mm X 10회 = 7m
- 공정 시간 : 600sec X 10회 = 6,000sec
- 증착 두께 : 30,900 Å (Uniformity 측정용 샘플의 평균 두께)
- Depo. rate = 증착 두께(30,900 Å) X 스캔거리(7m) / 증착 시간 (6,000sec)

③ 측정결과 : Depo. rate = 36.05 Å.m/s



[그림53. 측정용 스퍼터링 장치 구조]

## 제 3 장 성과요약 및 기대효과

### 제 1 절 핵심 기술 및 개발 성과

#### 1. 핵심 기술 확보

- Sputter를 평가하는 주요 인자(factor)로는 증착막의 uniformity과 밀착력, 박막 증착율, 대면적 증착, 타겟 효율, Step coverage 등이 있음.
- 상기 주요 인자와 관련된 핵심 기술은 Magnetron Sputtering Cathode 기술로서 제품 생산성 및 박막의 품질에 크게 영향을 미침.
- 고효율 Cylindrical Magnetron Cathode 기술
  - 타겟 형태에 따라 다양한 모양의 Cathode가 존재하며, 타겟 효율을 최고로 향상시킬 수 있는 Cylindrical Magnetron Cathode 기술을 개발.
  - Cylindrical Magnetron Cathode는 원통형 타겟을 sputtering할 수 있는 최신의 Cathode로 효율을 85% 이상 향상시킬 수 있는 획기적인 기술임.
  - Cylindrical Magnetron Cathode는 양쪽의 End block으로 원통형 타겟이 고정되고 그 중심에 Magnet bar를 삽입하고 타겟을 회전시키며 sputtering하는 구조로 되어 있음.
  - Cylindrical Magnetron Cathode는 동력 전달을 할 수 있는 End block, Backing tube를 고정하고 Power를 인가하는 Support block, 자장을 형성 하는 Magnet bar 등이 있음.
  - 또한, Magnet bar를 일정 위치에 고정하는 Cylindrical Magnetron Cathode와 Magnet bar를 일정 각도와 주기로 스윙하여 증착각도를 높여 증착 효율을 향상 시키는 Swing Cylindrical Magnetron Cathode의 두 가지 모델로 개발하여 응용성을 높임.
- 동력 전달용 End block 기술
  - 모터와 Timing belt를 이용해 Flange를 회전시키는 모듈이며, 특히 고 진공상태를 유지해야 함으로 Vacuum sealing 기술이 중요.
  - flange type, 냉각수 sealing, 동력 전달(timing belt), interlock, magnet bar cooling 기술 확보
- Support end block 기술
  - 지지부 End block은 구동부의 반대편에 위치하며, 타겟을 지지해 주는 역할을 함.
  - slip ring으로 회전체에 안정된 Power를 공급하고 발열 방지와 타겟 무

계 지지를 위한 bearing 기술 확보.

- Magnet bar 기술
  - Sputtering에서 균일한 플라즈마를 형성시키기 위해서는 자석 배치와 B-field 형성이 매우 중요함.
  - Magnet bar는 원통형 타겟안에 설치되는 자석모듈로써 최적의 자장설계와 이를 위해 B-field simulation 기술 확보.
  - Uniformity 향상을 위한 자장 설계(B-field design), Sputtering angle 설정, 타겟의 dog-bone 방지 기술 확보
  - Single Magnet bar, Double Magnet bar, 광폭 magnet bar 등 다양한 구조와 기능의 Magnet bar 기술 확보.
- Supporting gas 공급 기술
  - Sputtering에서 공급 가스의 정확한 양 조절과 고른 가스 분사는 막질의 품질에 관계되는 주요 인자임.
  - Multi zone gas 분사 노즐 및 Gas flow control 기술 확보.

## 2. 개발 성과

### 가. 제품 차별화

- 고진공 및 냉각수 sealing, 안정된 고 power 인가.
- 자석의 B-field 설계 능력을 활용한 최적의 magnet bar 설계.
- 다양한 구조와 기능의 Magnet bar 형성(Single, Dual, 광폭).
- Magnet bar의 틸팅 구조와 기판의 회전 장치로 증착막이 고르고 대면적 증착영역 확보, 측면과 상면의 Step coverage 50% 이상.
- Cylindrical Cathode의 최고급 기술인 Swing형 Cylindrical Magnetron Cathode 개발로 증착각과 증착 면적의 조절이 가능하고 증착을 최대 가능.

### 나. 매출

- 개발 제품의 In-line Sputtering System 사업화 적용으로 약 30억 매출 달성.



[그림 54. Cylindrical cathode를 적용한 In-line Sputtering System]

## 다. 특허

- 특허 1 건 출원 완료(출원번호 10-2014-0089840, 2014년 7월 16일)  
(복수의 자석조립체가 장착된 마그네트론 스퍼터링 캐소드 및 스퍼터링 장치)

## 제 2 절 기대 효과

### 가. 경제적인 측면의 기대효과

- 박막 증착 장비인 Sputter에 채용되는 Cylindrical Magnetron Cathode는 수입에 의존하고 있으며, 2014년에 전세계적으로 3,300억 원의 시장 규모로 예상되며, 현재 일부에서만 채용되고 있어 향후 여러 분야에 응용함으로써 성장성이 크고 경제적인 파급 효과도 클것으로 예측됨.
- 본 과제의 개발기술을 제품화에 성공하였으며, 회사의 매출 향상과 국산화로 인한 수입대체 효과, 수출 증대에 기여할 수 있을 것으로 예상.

### 나. 생산 및 품질적인 측면의 기대효과

- 타겟의 효율을 85% 이상 향상시킴으로써 Target life time을 향상 시켜 PM 주기를 길게 함으로서 생산성 향상에 크게 기여 할 것으로 예상됨.
- 증착 박막의 Step coverage를 50% 이상 향상 시켜 측면 증착이 필요한 제품의 공정에서 상면의 두께를 필요 이상으로 증착하던 문제를 해결하여 불필요한 타겟 소모를 줄일 수 있어 제품원가 경쟁력에도 기여.

### 다. 기술적인 측면의 기대효과

- 개발된 제품을 반도체 패키지 Sputtering System에 채용하여 양산 라인을 구축하고 양산 진행함으로써 기술적인 검증을 완료함.
- 또한, Cylindrical Cathode의 최고급 기술인 Swing형 Cylindrical Magnetron Cathode 개발로 증착 각도과 증착 면적의 조절이 가능하여 제품 경쟁력을 높임.

## 제 3 절 사업화 계획

### 1. 제품의 수명 주기

개발 제품의 수명주기(Life Cycle Time)는 현재 반도체, Solar, Touch, OLED 산업의 성장 단계임.

### 2. 향후 사업화 계획

### 가. 주요 예상 수요처

- 반도체, 디스플레이, 태양전지, 휴대폰, PCB, 고품질 박막 및 코팅 용용 분야.

### 나. 예상 경쟁업체 현황

- Gencoа, Becaert advanced coatings, GPI 등

### 다. 수요 전망

- Sputter는 반도체, 디스플레이, optical storage media, 태양광 등의 다양한 산업분야에 적용되고 있음.
- 반도체분야에서 Sputter기술은 많은 발전이 되어 있으며, 12inch wafer를 넘어 16inch 용의 cathode도 개발완료 및 진행 되고 있음.
- 최근에는 디스플레이 및 TSP용의 Sputtering 기술 개발에 대한 요구와 그에 따른 개발이 이루어지고 있음.
- Sputter의 global market 시장은 꾸준히 증가하고 있으며, Sputter target과 sputtered film시장은 2007년에 28억 달러에서 2012년에 59억 달러, 2015년도에는 60억 달러에 이를 것으로 예상됨.
- 또한, PVD 장비 시장은 2009년에 약 64억 달러에서 매년 10.5%씩 성장하여 2014년에는 약 100억 달러까지 성장할 것으로 예상됨

### 라. 판매 계획

구 분	연도별 판매 계획 (단위: 대, 백만원)							
	2014 년		2015 년		2016 년		합계	
	대수	금액	대수	금액	대수	금액	대수	금액
내 수	36	2,880	60	4,800	60	4,800	156	12,480
수 출	-	-	30	2,400	100	8,000	130	10,400
소 계	36	2,880	90	7,200	130	12,800	286	22,880

### 마 양산 및 판로 확보 계획

- 최종 제품의 생산특성 및 기존 자원의 활용을 통한 양산 계획
  - Cylindrical cathode의 핵심 부품으로는 vacuum, water sealing부품, Magnet, 고파워 인가용 부품 등이 있음
  - Cathode의 주요 부품인 Magnet의 원재료는 주로 중국에서 생산되는 소재로서 품질 검증된 업체 확보하여 생산 대응.
  - 일반적으로 Cathode의 성능 및 구조에 의해 시스템의 구성 및 Layout 등이 결정되어 고객의 주문 생산 형태로 추진.
  - 제품 생산 주기는 Magnet 납기와 밀접한 상관 관계가 있으며, 8주~12

주 정도가 소요됨.

- 스퍼터링은 기본적으로 진공을 이용한 산업으로 현재 회사의 사업 아이템인 진공 반송 물류 장비, 진공 증착 장비 등과 매우 밀접한 관계가 있음.
- 따라서, 현재 생산 시설 및 관련 업체 등의 인프라가 모두 형성되어 있어 양산 대응에 용이함.
- 수요 업체를 통한 판로 확보 방안
  - 기존 거래업체 활용 및 영업루트를 통한 판로 확대.
  - 신규 사업군인 반도체 패키지 시장의 확대 및 활성화 예상으로 사전 홍보 활동 강화.
- 최종 제품의 경쟁력 향상을 통한 제품 판매
  - Sputtering System과 연계한 판매 활동.
  - 해외 주요 기업의 기술 분석 결과 GPI의 제품이 가장 우수한 것으로 판단됨.
  - 개발 제품은 GPI 제품과 동등 수준의 기술개발 완료.
  - 특히, 타겟 효율을 최대 85% 이상 향상 시킴으로 제품 경쟁력 확보.
  - 경쟁사 최고가 대비 약 60%로 가격 경쟁력 확보.

