

Monte Carlo N-Particle Extended 코드를 이용한 연X선 정전기제거장치의 최적설계에 관한 연구

정필훈 · 이동훈*

부산경상대학교 소방안전 · 전기전자계열 · *부경대학교 안전공학과
(2017. 1. 12. 접수 / 2017. 2. 13. 수정 / 2017. 3. 8. 채택)

A Study on the Optimal Design of Soft X-ray Ionizer using the Monte Carlo N-Particle Extended Code

Phil hoon Jeong · Dong Hoon Lee**

Division of Fire Protection & Safety Engineering, Electrical & Electronics Engineering, Busan Kyungsang College

*Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received January 12, 2017 / Revised February 13, 2017 / Accepted March 8, 2017)

Abstract : In recent emerging industry, Display field becomes bigger and bigger, and also semiconductor technology becomes high density integration. In Flat Panel Display, there is an issue that electrostatic phenomenon results in fine dust adsorption as electrostatic capacity increases due to bigger size. Destruction of high integrated circuit and pattern deterioration occur in semiconductor and this causes the problem of weakening of thermal resistance. In order to solve this sort of electrostatic failure in this process, Soft X-ray ionizer is mainly used. Soft X-ray Ionizer does not only generate electrical noise and minute particle but also is efficient to remove electrostatic as it has a wide range of ionization. X-ray Generating efficiency has an effect on soft X-ray Ionizer affects neutralizing performance. There exist variable factors such as type of anode, thickness, tube voltage etc., and it takes a lot of time and financial resource to find optimal performance by manufacturing with actual X-ray tube source. MCNPX (Monte Carlo N-Particle Extended) is used for simulation to solve this kind of problem, and optimum efficiency of X-ray generation is anticipated. In this study, X-ray generation efficiency was measured according to target material thickness using MCNPX under the conditions that tube voltage is 5 keV, 10 keV, 15 keV and the target Material is Tungsten(W), Gold(Au), Silver(Ag). At the result, Gold(Au) shows optimum efficiency. In Tube voltage 5 keV, optimal target thickness is 0.05 μm and Largest energy of Light flux appears 2.22×10^8 x-ray flux. In Tube voltage 10 keV, optimal target Thickness is 0.18 μm and Largest energy of Light flux appears 1.97×10^9 x-ray flux. In Tube voltage 15 keV, optimal target Thickness is 0.29 μm and Largest energy of Light flux appears 4.59×10^9 x-ray flux.

Key Words : static elimination, target material, soft x-ray ionizer, monte carlo n-particle extended, x-ray generation efficiency

1. 서론

디스플레이 및 반도체제조 중 노광공정(Lithography Process), 현상공정(Development Process) 및 증착공정(Deposition Process)에서는 대전전압이 수 ~ 수십 kV로 높게 나타난다¹⁾. 또한 유리기관 및 웨이퍼 크기가 커짐에 따라 정전용량이 증가하여 높은 대전전압으로 인한 정전기방전(Electrostatic Discharge)에 의해 고집적회로의 파괴, 패턴의 용융과 미세먼지가 흡착되어 불량이 발생하는 등 정전기장해가 증가하고 있다²⁾. 이러한 정전기

장해를 해결하기 위해 사용되는 연X선식 정전기제거장치(Soft X-Ray Ionizer)는 우수한 제전능력으로 디스플레이 및 반도체제조공정에는 아주 적합한 장치이다^{3,4)}. 그러나 상기에 언급한 공정에 따라서는 정전기제거에 필요한 최적의 공기이온화를 적용할 필요가 있다. 최적의 공기이온화를 구축하기 위해서는 최적효율의 X선관 설계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 몬테카를로 코드(Monte Carlo N - Particle Extended Code)를 사용하여 X선 발생효율에 영향을 미치는 양극물질의 종류, 증착두께 및 가속전압의 최적값을 구하고자 한다.

* Corresponding Author : Dong Hoon Lee Tel : +82-51-629-6466, E-mail : lhoon@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 최적화된 X선관을 구하기 위하여 몬테카를로 코드를 이용하여 에너지스펙트럼을 분석하였다.

2.1 몬테카를로 코드의 기능

몬테카를로 코드는 불규칙적인 난수를 물리적, 화학적 방법을 이용하여 확률론적인 함수로 해결하는데 주로 이용된다. 몬테카를로 코드는 방사선 조사에 있어 중성자, 광자, 전자 등을 이용하여 입자와 양극물질과의 상호작용을 통한 양극물질의 고유한 에너지스펙트럼 값의 계산을 가능하게 한다. 즉, X선관에서 방출되는 입자의 종류, 입자간의 충돌 진행방향, 상호작용하는 물질 등의 정보를 설정하여 방사선 조사 예상지점에서 방사선 에너지량을 예측할 수 있게 된다. Fig. 1은 몬테카를로 코드의 시뮬레이션 알고리즘을 나타낸 것이다.

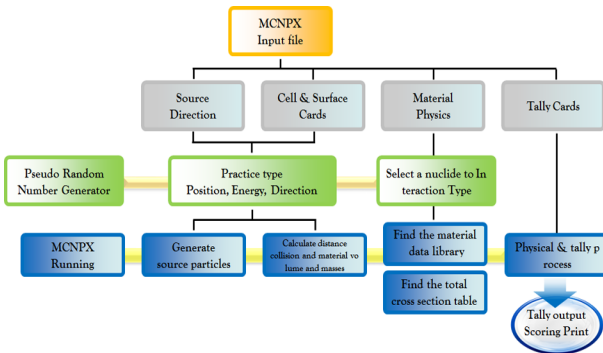


Fig. 1. Monte-carlo N particle extended code algorithm.

2.2 X선 발생이론

X선은 고진공관내(10^{-7} torr)의 필라멘트에서 방출된 열전자는 양(+)의 고전압에 의해 전자의 운동을 가속시킨다. 가속된 전자는 양극에 충돌하게 되는데, 이 때 방출된 전자의 운동에너지 중에서 1% 정도의 에너지만이 X선을 발생시키고, 나머지는 열에너지로 변환하게 된다. 다음 식(1)은 X선의 에너지효율을 나타낸 식이다.

$$\epsilon = 1.1 \times 10^{-9} ZV \dots\dots\dots (1)$$

여기서 Z는 양극의 원자번호, V는 전자의 가속전압을 나타낸다.

X선 발생장치의 양극물질로는 텅스텐(Tungsten), 금(Gold), 은(Silver)이 주로 사용된다. X선의 발생효율은 원

Table 1. MCNPX Simulation Condition

Status	Condition
Using code	MCNPX
Soft X-ray source tube Voltage(keV)	5 keV, 10 keV, 15 keV
Target Material	Tungsten, Gold, Silver

자번호가 높을수록, 가속전압에 비례하여 증가한다⁵⁻⁶⁾. 본 실험에서 첫 번째 변수로 X선 발생장치의 양극물질인 텅스텐, 금 및 은의 두께를 변화시켰을 때 에너지스펙트럼을 분석하였고, 두 번째 변수로는 가속고전압을 5, 10, 15[keV]로 변화시켰을 때 에너지스펙트럼을 분석하였다. Table 1은 몬테카를로 코드의 시뮬레이션 조건을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 가속전압(Tube Voltage)을 5 keV로 고정하고 금, 텅스텐 및 은의 증착두께를 0.02 μm 에서 0.12 μm 까지 0.01 μm 단위로 증가하였을 때 발생하는 X선량을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 금의 경우에는 증착두께 0.05 μm 까지는 X선량이 증가하여 최대값 2.22×10^8 x-ray flux를 나타냈으나, 이 후 증착두께가 증가할수록 X선량은 서서히 감소하였다. 텅스텐의 경우에도 금의 경우와 유사하게 증착두께 0.05 μm 까지는 X선량이 증가하였으나, 이 후 증착두께가 증가할수록 X선량은 서서히 감소함을 알 수 있다. 텅스텐의 경우에는 증착두께가 0.05 μm 일 때 최대 X선량은 2.01×10^8 x-ray flux로 금에 비해 약 10% 정도 낮게 나타났다. 이는 텅스텐이 금보다 원자번호와 밀도가 낮아 원자사이의 결합력과 극성의 세기가 약하여 X선의 발생량이 감소한 것으로 생각된다. 은의 경우에는 증착두께가 0.08 μm 에서 최대 X선량은 1.36×10^8

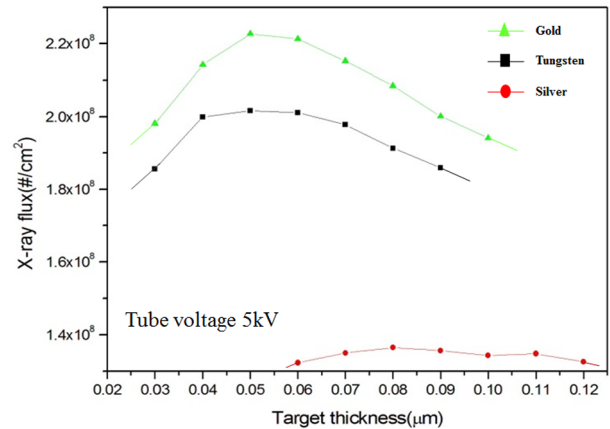


Fig. 2. The X-ray flux as function of the target material thickness at tube voltage 5 keV.

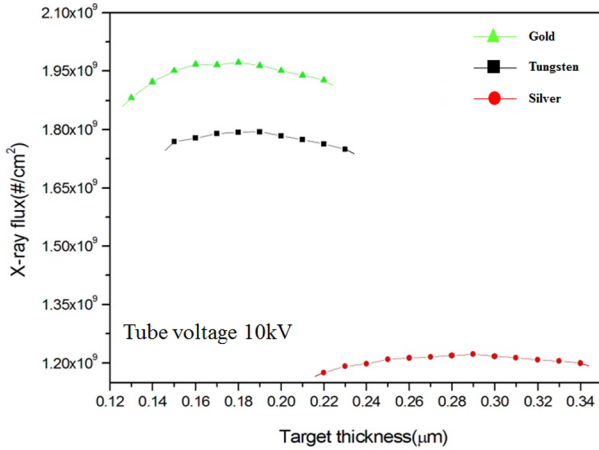


Fig. 3. The X-ray flux as function of the target material thickness at tube voltage 10 keV.

10^8 x-ray flux로 금 및 텅스텐에 비하여 최대X선발생량이 35% ~ 40% 정도로 낮게 나타났다. 이는 은의 경우 금 및 텅스텐에 비해 원자번호와 밀도가 상대적으로 작아 원자핵의 구속력이 감소하여 X선의 발생효율이 낮아졌다고 생각된다. 은의 경우 최대X선발생량을 보였을 때의 증착두께도 금과 텅스텐의 증착두께에 비해 $0.03 \mu\text{m}$ 증가하였다.

Fig 3은 가속전압을 10 keV로 고정하고 금, 텅스텐 및 은의 증착두께를 $0.12 \mu\text{m}$ 에서 $0.34 \mu\text{m}$ 까지 $0.01 \mu\text{m}$ 단위로 증가하였을 때 발생하는 X선량을 나타낸 것이다. Fig 3에서 금의 경우에는 증착두께 $0.18 \mu\text{m}$ 까지는 X선량이 서서히 증가하여 최대값 1.97×10^9 x-ray flux를 나타냈으나, 이 후 증착두께가 증가할수록 X선량은 서서히 감소하였다. 텅스텐의 경우에도 금의 경우와 유사하게 $0.19 \mu\text{m}$ 까지는 서서히 증가하나, 이 후 증착두께가 증가할수록 X선량은 서서히 감소함을 알 수 있었다. 텅스텐의 경우 증착두께 $0.19 \mu\text{m}$ 에서 최대X선량은 1.79×10^9 x-ray flux로 금에 비해 약 10% 정도 낮게 나타났다. 이는 텅스텐이 금보다 원자번호와 밀도가 작아 X선의 발생량이 감소한 것으로 생각된다. 은의 경우에는 증착두께 $0.29 \mu\text{m}$ 에서 최대 X선량은 1.22×10^9 x-ray flux로 금 및 텅스텐에 비하여 약 35 ~ 40% 정도로 낮게 나타났다. 이는 은의 원자번호와 밀도가 금과 텅스텐에 비해 상대적으로 작아 원자핵의 구속력이 감소하여 극성의 세기가 감소하였기 때문이다. 은의 경우 최대X선발생량을 보였을 때의 증착두께도 금과 텅스텐의 증착두께에 비해 $0.11 \mu\text{m}$ 증가하였다.

Fig. 4은 가속전압을 15 keV로 고정하고 금, 텅스텐 및 은의 증착두께를 $0.24 \mu\text{m}$ 에서 $0.52 \mu\text{m}$ 까지 $0.02 \mu\text{m}$ 단위로 증가하였을 때 발생하는 X선량을 나타낸 것이다.

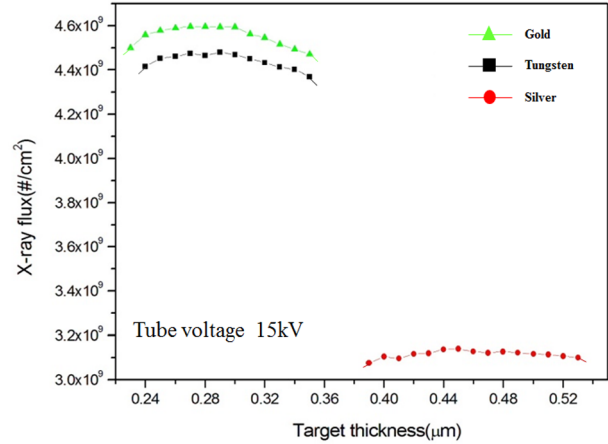


Fig. 4. The X-ray flux as function of the target material thickness at tube voltage 15 keV.

Fig. 4에서 금의 경우에는 증착두께 $0.29 \mu\text{m}$ 까지는 높은 에너지 값을 나타냈으나, 이후 증착두께가 증가할수록 에너지 값이 서서히 감소하였다. 증착두께 $0.29 \mu\text{m}$ 에서 최대 X선량이 4.59×10^9 x-ray flux를 나타냈다. 텅스텐의 경우에도 증착두께 $0.28 \mu\text{m}$ 까지는 에너지 값이 증가하여, 최대 X선량 4.48×10^9 x-ray flux를 나타냈다. 은의 경우에는 증착두께가 $0.45 \mu\text{m}$ 까지 에너지 값이 증가하다가, 이 후 에너지 값이 서서히 감소하였다. 이 때 최대 X선량은 3.14×10^9 x-ray flux로 금 및 텅스텐에 비하여 35% ~ 40% 정도로 낮고, 최대X선량이 발생하는 양극물질의 증착두께도 약 $0.26 \mu\text{m}$ 이상 증가하였다. 이는 은의 원자번호와 밀도가 금과 텅스텐에 비해 상대적으로 작아 원자핵의 구속력이 감소하여 최대 X선량도 작고 증착두께도 증가하였기 때문이라고 생각된다.

몬테카를로 코드를 이용하여 양극물질의 종류, 증착두께 및 양극전압의 변화에 따라 X선 발생에너지를 시뮬레이션한 결과, 가속전압이 증가하더라도 양극물질의 증착두께가 너무 얇을 경우에는 에너지와 전자간의 상호작용이 충분하지 못해 X선 발생에너지가 낮아지는 결과를 알 수 있었으며, 가속전압이 낮을 경우 양극물질의 증착두께가 너무 두꺼우면 X선이 표적을 투과할 수 있는 충분한 에너지를 갖지 못하여 X선 발생에너지가 낮아지는 결과를 알 수 있었다.

따라서, 양극물질의 증착두께에 따른 X선 발생에너지의 값은 가속전압에 따라 최대의 에너지스펙트럼을 보이는 최적의 양극물질의 증착두께를 설정하는 것이 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다. Table 2는 양극물질의 성분에 따른 가속전압별 최적의 증착두께를 나타낸 것이다.

Table 2. The optimal target material thickness as a function of the tube voltage and target material

Voltage	Material	Optimal Thickness	Maximum Energy
5 keV	Gold (Au)	0.05 μm	2.22×10^8 x-ray flux
	Tungsten (W)	0.05 μm	2.01×10^8 x-ray flux
	Silver (Ag)	0.08 μm	1.36×10^8 x-ray flux
10 keV	Gold (Au)	0.18 μm	1.97×10^9 x-ray flux
	Tungsten (W)	0.19 μm	1.79×10^9 x-ray flux
	Silver (Ag)	0.29 μm	1.22×10^9 x-ray flux
15 keV	Gold (Au)	0.29 μm	4.59×10^9 x-ray flux
	Tungsten (W)	0.28 μm	4.48×10^9 x-ray flux
	Silver (Ag)	0.45 μm	3.14×10^9 x-ray flux

4. 결론

최적의 X선 발생효율을 구하기 위하여 몬테카를로 코드를 이용하여 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 가속전압 5 keV에서 X선 발생효율이 최적인 물질은 금(Au)이고, 증착두께 0.05 μm 에서 최대 X선에너지는 2.22×10^8 x-ray flux이었다.
- 2) 가속전압 10 keV에서 X선 발생효율이 최적인 물질은 금(Au)이고, 증착두께 0.18 μm 에서 최대 X선에너지 값은 1.97×10^9 x-ray flux이었다.
- 3) 가속전압 15 keV에서 X선 발생효율이 최적인 물질은 금(Au)이고, 증착두께 0.29 μm 에서 최대 X선에너지 값은 4.59×10^9 x-ray flux이었다.

X선관의 특성을 파악하기 위해서는 매우 다양한 변수가 존재한다. 이런 다양한 변수의 통제를 실제모형을 통해 그 특성을 측정하는 것은 현실적으로 제작시간과 고비용 등 여러 가지 문제점이 대두된다.

따라서 몬테카를로 코드를 이용한 시뮬레이션을 실시하여 X선발생효율에 영향을 미치는 변수를 통제하고, X선이 발생하는 양극물질의 최적두께를 시뮬레이션을 통해 예측할 수 있었다. 향후에는 몬테카를로 코드를 이용한 시뮬레이션으로 구한 최적 값과 이를 실제모델에 적용시켜 측정된 정전기제거성능을 비교분석하도록 할 것이다.

References

- 1) S. M. Kim and D. H. Lee, "Study of Application of the Static Electricity Removing Devices at TFT-LCD and AMOLED TFT Process", Master's Thesis of Pukyong National University, pp. 44-58, 2015.
- 2) Adachi T, Kawasaki M and Nakabayashi H, "The Behavior of Dust Particle in Electrostatic Precipitators", Journal of the Institute of Electrostatics Japan, Vol. 4, No. 3, pp. 152-159, 1980.
- 3) S. Soichiro, I. Hitoshi and T. Yoshida, "Contamination-Free Ionizer for Super Clean Rooms", Proc. 3rd Int. Aerosol Conference Japan, pp. 817-820, 1990.
- 4) S. Y. Kwon and D. H. Lee, "A Study on Characteristics of Electrostatic Eliminator used Corona Discharge and Soft X-ray", Doctor's Thesis of Pukyong National University, pp. 21-88, 2010.
- 5) H. S. Hong and K. S. Joo, "A Study on Comparison of Resolution according to Filter Material and Calculation of the Radiation Dose of X-ray Generator using MCNPX Code", Master's Thesis of Myongji University, pp. 2-16, 2015.
- 6) P. J. Duke and A.G. Michette, "Modern Microscopies, Techniques and Applications", Plenum Press New York, pp. 41-45, 1990.