

하나로에서의 NTD 조사를 위한 중성자속 평탄화 장치의 최적화를 위한 예비분석

송영동* · 이현주* · 이병철** · 전병진** · 김학노**

A Preliminary Study for Optimal Design of Neutron Flux Flattener for NTD in HANARO

Young-Dong Song*, Heon-Ju Lee*, Byung-Chul Lee**, Byung-Jin Jun** and Hark-Rho Kim**

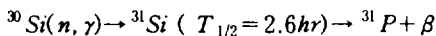
ABSTRACT

NTD (Neutron Transmutation Doping) method has several advantages of high resistivity and uniform doping in comparison with other method. To satisfy those conditions, the flux variations of radial and axial directions should be within $\pm 5\%$ and $\pm 1.7\%$, respectively. The NTD facility in HANARO is purposed to irradiate the silicon ingot of 60cm in height. Hence, the flux flattener will be designed for 60cm. In this paper, preliminary study for optimal design is showed and the flux distribution of axial direction is calculated using MCNP4B code. The results show that the flattener model can flatten the flux to 83% of total length.

Key words : NTD, silicon, doping, flattener.

1. 서 론

반도체 생산을 위한 NTD (Neutron Transmutation Doping) 는 아래와 같은 조사체의 핵자와 중성자간의 핵반응을 이용한 방법이다:



이 경우 불순물(dopant)이 Si 자체 내에서 생성되기 때문에 외부에서 불순물을 주입하는 방법보다 불순물이 균일하고 정확하게 도핑 된다⁽¹⁾.

실제로 NTD-Si의 경우 저항 변동률이 기존 방법 (FZ, CZ-Si)에 의한 것보다 약 1/10 정도 밖에 되지 않아 내압 특성이 우수한 thyristor와 diode를 제작하는데 이용되고 있다⁽²⁾.

한국 원자력 연구소 하나로에는 Table 1과 같은 NTD를 위한 조사공이 두 개 있고 이 조사공을 이용하여 6" . 5" 의 Silicon 조사가 가능하다. 하나로에서 NTD-Si 가 생산될 경우 가장 우선적으로 고려되어져야 할 사항은 NTD-Si의 품질이다. 고품질의 NTD-Si은 반도체내에서 균일한 비저항을 얻을 수 있어야 한다. 이러한 비저항을 얻기 위해서는 조사공안에 들어간 Si의 균일한 조사가 이루어져야 한다.

통상 고품질의 NTD-Si를 얻으려면 축방향으로 \pm

* 제주대학교 에너지공학과
Dept. of Nuclear & Energy Eng., Cheju Nat'l Univ.
** 한국원자력연구소
Korea Atomic Energy Research Institute

5%. 반경방향으로는 $\pm 1.7\%$ 이내에서 조사가 이루어져야 하며, 균일한 비저항도를 얻을 수 있다⁽³⁾. 이를 위해서는 중성자의 분포를 반경 방향과 축방향에 대해서 평탄화 시켜야 한다.

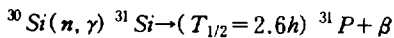
본 논문에서는 균일 조사를 위한 최적의 중성자속 평탄화 장치 설계를 위한 예비 분석 결과이다.

Table 1. Characteristics of NTD in HANARO

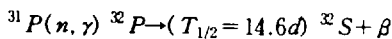
	NTD1	NTD2
Length(cm)	126	126
Radius(cm)	11.0	9.0

II. 이 론

NTD방법은 중성자에 의한 핵반응을 이용한 Doping 방법으로 Silicon의 경우 ^{31}P 가 불순물원자로서 생성된다.



^{31}P 은 4족 원소로 다른 과정 없이 n-type의 반도체가 된다. 하지만 이후의 핵반응으로 인해 생성되는 ^{32}S 이 양은 적지만 반감기가 길기 때문에 완전히 무시할 수는 없다.



NTD 조사방법에는 정위치법, 왕복법, 도치법이 사용되고 있다⁽⁴⁾.

정위치법은 가장 많이 사용되는 방법으로 조사체(Si-ingot)를 한 위치에 고정시키고 조사하는 방법이다. 이 경우 중성자속의 변화가 제어봉의 위치에 따라 변화가 적어야 하며 축방향의 중성자속 평탄화를 위해 평탄화 장치를 별도로 설치해야 하고 반경방향의 중성자속 균일화를 위해 회전을 시키게 된다. 왕복법은 조사체를 상하로 왕복시키면서 중성자속을 균일화 하는 방법이고, 도치법은 축방향 분포가 거의 직선적인 모양을 갖는 등 대칭에 가까운 곳에서 절반을 쪼인 뒤에 단결정을 거꾸로 넣어 나머지 절반을 쪼이는 방법이다. 하나로인 경우 조사공 하단부분에 여유 공간이 없고 조사공 직경이 넉넉하여 충분히 평

탄화장치를 설치할 수 있는 점에서 정위치법을 채택하고 있다.

NTD 생산 공정을 살펴보면 먼저 Doping 되지 않은 실리콘 단결정을 성장시켜야 하며 그 단결정 실리콘을 가지고 원자로에서 중성자 조사를 시키게 된다. 이후 중성자 조사로 발생하는 방사능을 제거하고 600°C ~ 900°C Annealing 과정을 거친 후 웨이퍼를 만들게 된다.

III. 방 법

3.1. NTD 조사 장치

현재 하나로에서는 5" Si-ingot을 조사하기 위해 NTD2 조사공에 조사장치를 설치할 준비를 하고 있다. 이 장치는 크게 Si-ingot을 넣을 조사통과 중성자속 평탄화 장치인 슬리브 부분, 그리고 Si-ingot을 집어넣고 썰 때의 반응도의 변화를 없애기 위한 Floater 로 크게 나눌 수 있다.

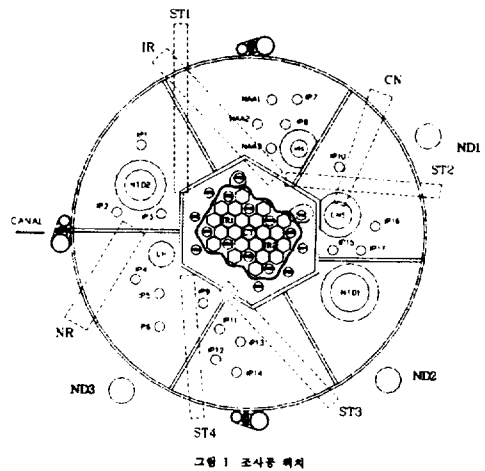


Fig. 1. Irradiation holes position in HANARO.

Fig. 2는 NTD 장치를 MCNP 코드를 이용하여 모델링한 모습이다. Si-ingot 주위로 공기가 들어있는 슬리브가 감싸고 있고 이 슬리브를 가공하여 중성자속을 평탄화 시킨다.

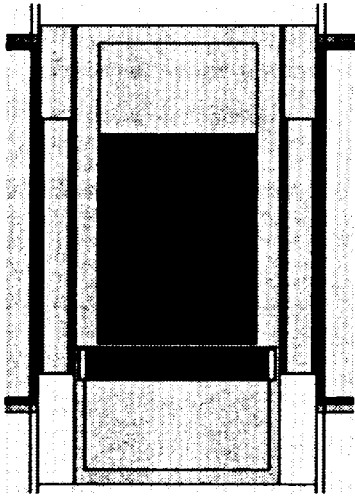


Fig. 2. NTD model.

3.2. 중성자속 평탄화 장치(Flux flatteners)

평탄화 장치는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째는 중성자 흡수 단면적이 큰 물질을 스크린으로 하여 평탄화를 이루는 방법이고 두 번째 방법은 스크린을 쓰지 않고 자체의 구조적인 형태를 이용하여 평탄화를 실현시키는 방법이다.

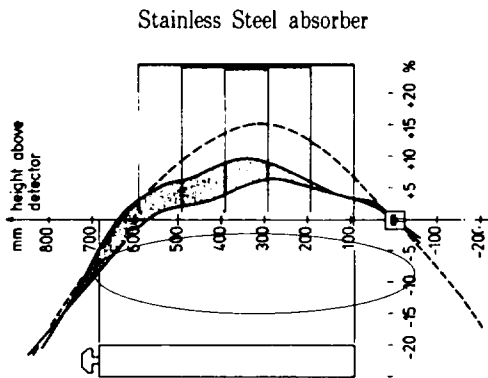


Fig. 3. The flux flattener using stainless steel absorber in Danish Reactor DR3⁽¹⁾.

Fig. 3은 덴마크의 DR3 원자로에서의 중성자속 평탄화 장치를 보여주고 있다. Fig. 3과 같이 Absorber를 스크린으로 이용한 중성자 평탄화 장치는 중성자

속을 필연적으로 감소 시켜야 하기 때문에 NTD 조사 시 중성자속의 많은 불이익을 받게 된다.

그러므로 가장 좋은 평탄화 장치의 조건은 중성자속의 감소를 최소화하고 양끝의 분포 모양을 위로 끌어올리는 형태가 가장 이상적이다.

3.3. 중성자속 평탄화를 위한 슬리브 모델

중성자속을 평탄화 하는 장치는 NTD를 실시하는 원자로의 상황과 특성에 따라 좌우된다. 하나로에서 NTD2조사공의 경우 5인치 Si-ingot을 조사할 때 주위에 두께가 5.3cm의 공간이 남게 된다. 이 공간을 활용하여 공기가 들어있는 알루미늄통(Sleeve)을 Si-ingot 주위에 위치시킬 수 있다. 이 슬리브를 통하여 두 가지의 효과를 얻을 수 있다. 첫째는 Si-ingot 주위에 차있던 물대신 공기가 들어가므로 전체적으로 중성자속이 증가되는 효과를 가져올 수 있고 이 슬리브를 가공하여 중성자속의 평탄화를 가져올 수 있다.

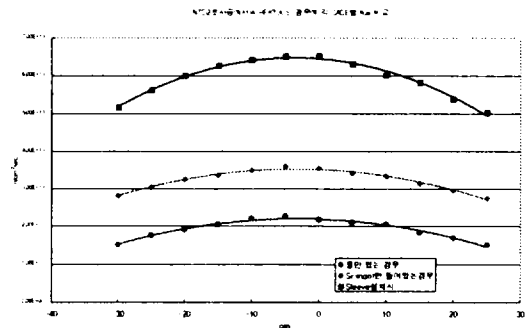


Fig. 4. Thermal flux variation on silicon in NTD hole - sleeve effect.

Fig. 4에서 보듯이 슬리브를 넣으므로써 중성자속은 약 4.7배 증가되고 있음을 알 수 있다.

슬리브는 내면 가공을 하여 물과 Si-ingot과의 접촉면을 넓게 함으로써 Si에서 발생하는 열을 냉각시키는 효과도 고려하였다.

Fig. 5는 중성자속 평탄화를 위한 여러 가지 Sleeve 모델들이다.

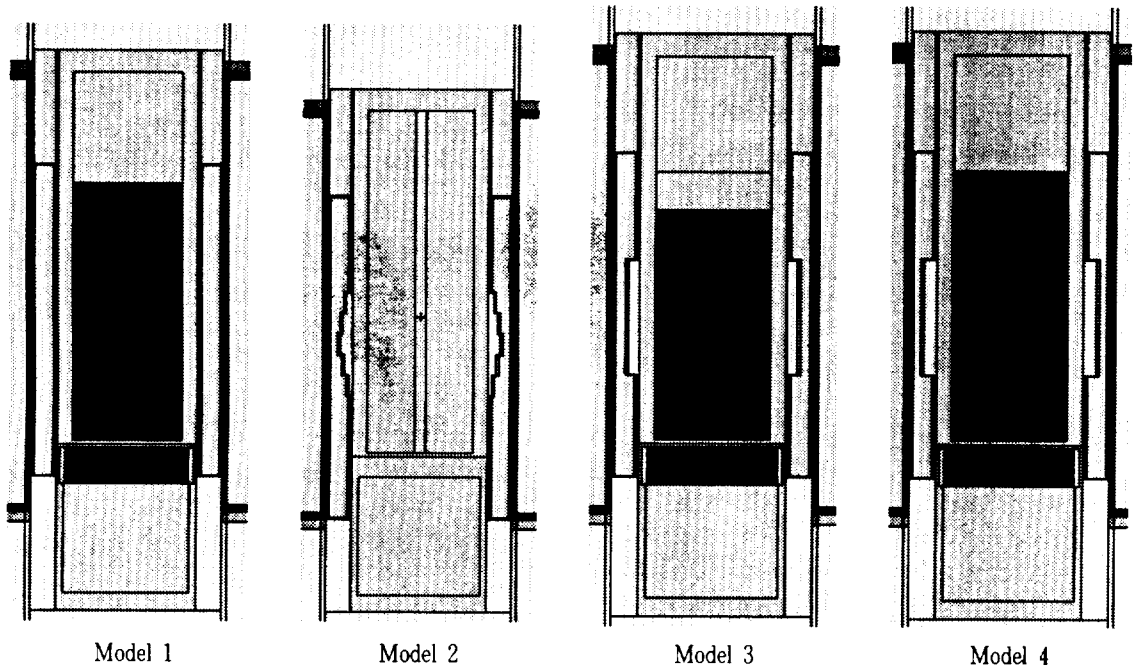


Fig. 5. Sleeve models.

Table 2. Characteristics of each models

	Model 1	Model 2	Model3	Model 4
Material	Si single crystal	Al (trial examination device)	Si single crystal	Si single crystal
Sleeve design	Cylinder	4mm 8mm 6mm 2mm	8mm	10mm
Graphite	over. under Si-ingot	.	under Si-ingot	over. under Si-ingot
Si-ingot 위치	-20 ~ + 40	-20 ~ + 40	-20 ~ + 40	-20 ~ + 40

III. 결과 및 논의

계산은 MCNP4B 코드를 이용하였고 본 계산에서는 열중성자만을 고려하였다. NTD조사공에서의 고속 중성자(>1Mev)가 열중성자속의 1/400 이하이므로

고려하지 않아도 되기 때문이다⁽⁴⁾.

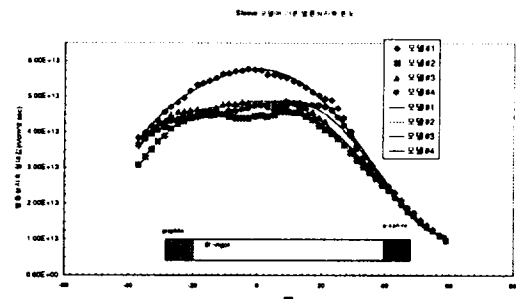


Fig. 6. Axial thermal flux distributions of model 1. 2. 3. 4.

Fig. 6은 각 모델에 따른 Si-ingot 에서의 열중성자속 분포이다.

그림에서 보는 바와 같이 각각의 슬리브 개선 모델에 따라 축방향 중성자속 분포가 상당히 평탄화 되었음을 알 수 있다. Model 1은 기준모델로서 슬리브가 원통형일 경우의 열중성자 분포이다. 원통형인 경우 중성자속이 전형적인 Cosine 분포를 하고 있으며 평탄

화 장치는 이 위쪽 부분을 평탄화 시켜야 한다. Model 2는 예비 실험으로 수행되어질 Si와 핵적 특성이 비슷한 Al을 이용한 계산 결과이다. Model 3은 단순하게 슬리브를 내면 가공하였을 경우의 효과를 보기 위한 모델이다. 계산한 결과 이 모델은 가장 높은 중성자속을 보여주면서 평탄화 되고 있지만 아직 평탄화 되는 정도는 미흡하다. Model 4는 양 끝에 Graphite를 위치시키고 좀 더 내경을 깊게 하였다. 계산 결과 가장 넓은 중성자 평탄화 범위를 보여주고 있다.

Si-ingot 양단에 설치된 Graphite는 옆으로 새어나가는 중성자속을 줄이고 그래프상의 양끝을 올려주는 Reflector역할을 한다. Table 3에서도 보는바와 같이 Graphite의 영향으로 양끝 부분의 평탄화가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Table 3. $\pm 5\%$ range of each models

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
$\pm 5\%$ range	reference case	-25 ~ + 20	-28 ~ + 19	-25 ~ + 25
ratio		0.75	0.78	0.83

결과적으로 Model 4인 경우 중성자속 평탄화가 전체 Si-ingot 길이의 83%에 달하고 있어 다른 모델들보다 가장 효과적이었다.

IV. 결 론

분석을 수행한 슬리브 모델 중 Model 4인 경우 전체 길이의 83%에 해당하는 약 50cm의 축방향 길이에 대해 평탄화가 이루어 졌다. 또한 Model 2와 같이 슬리브가 복잡한 가공 없이 단순한 10mm 내면가공만으로 평탄화가 예상보다 많이 이루어졌다. 그리고 양단에 Graphite 설치가 상당부분 효과가 있음을 보

여주고 있어 Graphite가 평탄화 장치의 보조적 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이번 계산 결과로부터 슬리브의 두께를 몇 단계로 조절하여 물층의 두께를 조절하고 Graphite를 효율적으로 사용함으로써 목표치 이내로 평탄화 시킬 수 있는 가능성을 확인하였고 현재 상세 분석을 수행하고 있다.

본 연구에서는 반경방향에 대한 계산은 수행하지 않았다. 반경방향의 평탄화를 위해서 조사시 회전을 시킬 예정이며 본 계산 모델이외의 결과에서 충분히 $\pm 1.7\%$ 의 조건을 만족하고 있음을 보여주고 있어 반경방향으로는 별 어려움 없이 조사 조건을 달성할 수 있을 것으로 보인다. 차후 이를 확인하기 위한 반경방향에 대한 계산도 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 기관 고유사업에 대한 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) Guldberg.1980. *Neutron transmutation Doped Silicon*. Plenum.New York. pp.11-13.
- 2) 손윤, 조학동, 위영호, 정천기, 강대원, 홍치유, 심헌준, 심해섭, 유재순. 1993. 중준위 열중성자 조사한 NTD-GaAs의 전기적 특성. *New Physics (The Korean Physical Society)*. Vol.33. pp.668-673.
- 3) Robert D.Larrabee.1980. *Neutron Transmutation Doping of Semiconductor Materials*. Plenum. New York. p.93
- 4) 전병진, 이충성, 이병철, 김학노. 2000. 하나로에서의 NTD 방안 분석. 원자력 학회 추계학술발표회.