

박막 다이아몬드 필름의 후처리 공정법에 대한 고찰 Review on Post-Processing of Diamond Thin Film Semiconductor

이헌택*, 이한영**, 황운택***
*, **, *** 시립인천전문대학

Abstract

This paper reviewed the methods about post-processing of diamond stone and thin film. Five different cases of annealing conditions have been discussed with the electrical properties of doping and implantation.

1. 서론

천연 다이아몬드와 인조 다이아몬드는 수십년 동안 집중적인 연구와 개발의 대상이었다(1). 이것은 절단공구, 연마재, 전자공학과 광학등 다수의 분야에서 다이아몬드의 우수한 열적, 기계적, 전자적인 특성을 이용하기 위한 것이었다. 또한 전자공학 분야에서도 다이아몬드는 고온에서 동작이 가능하고 고속특성을 가지며 높은 전압에서도 동작가능한 전자소자를 만들 수 있어서 관심을 끌어왔으며 M. W. Geis(2) 와 H. Shiom(3) 등에 의해 접합트랜지스터와 MESFET가 성공적으로 제작된바도 있다. 다이아몬드가 평면가공과 에칭, 열처리등과 같은 중간처리와 후처리 공정 등에 진보를 이룩할 수 있다면 전자공학분야에 커다란 진전을 가져올 것으로 기대된다.

본고찰에서는 이러한 가능성으로 다이아몬드 반도체중 다이아몬드 원석과 박막의 후처리 공정에 대해서 논하였다.

2. 본론

2-1. 천연 원석에 관련된 문제점

천연 다이아몬드 원석은 그들의 크기가 보통 수 mm 정도로 국한되고, 원석상호간에도 특성이 큰 차이가 있는점, 그리고 원석 내부 특성에도 커다란 차이가 있는점등으로 인하여 전자공학 응용 분야에는 어려움이 있다. 또한 원석은 불순물을 함유하고 있고 촘촘한 격자모양을 하고 있어 이런 이유로 천연 다이아몬드 원석은 전자부품을 만드는데는 일반적으로 부적합한것으로 평가되고 있다. 따라서 천연다이아몬드 박막의 문제점을 극복하여 박막반도체를 제작하는 방법은 중요한 과제가 될 수 있을것이다.

2-2. 이온 빔 성장법

비교적 높은 에너지 (~100 Kev) 와 낮은 에너지 (< 10 Kev)의 탄소 이온빔으로 단결정 다이아몬드 표면에 충돌시켰을때 내부 팽창 또는 에피택시에 의해 성장할 수 있음이 입증되었다(4). 자료들에 의하면 성장율은 5 μm/hr, 두께는 15 μm 까지 증착가능한 것으로 나타나 있으며 분명한것은 이온 주입법, 에칭법, 밀링법, CVD 와 같은 이온을 사용하는 어떠한 방법으로 다이아몬드를 가공하여도 결정체에 손상을 입힌다는 사실이다. 더우기 이온빔 성장연구에 의해 알려진바로는 상충부가 잘게 쪼개지는 현상이나 금이가기 전까지 성장시킬 수 있는 두께는 약 15 μm 로 한계가 있다고 알려지고 있다.

2-3. 다이아몬드층의 열처리
다이아몬드의 박막을 소자로 사용 하기 위하여는 열처리를 할 필요가 있다. 열처리는 이온주입법으로 첨가된 dopant 들을 활성화시키기 위해서도 필수적으로 필요한 과정이다. 800 °C 시료 온도에서 30 Kev 의 탄소이온을 사용하여 이온빔법으로 성장시킨 다이아몬드 박막을 고온 열처리 할때 그 영향을 조사하기 위하여 아래 시편들이 이용된바 있다.

2-3. 다이아몬드층의 열처리

(a) 천연 다이아몬드 (Type I)
(b) 천연 다이아몬드 (Type II)
(c) Type I 위에 1 μm 성장시킨 시편
(d) Type I 위에 5 μm 성장시킨 시편
(e) Type II 위에 붕소로 도핑하여 1 μm 두께로 성장시킨 시편

열처리는 속이 빈 실린더형 또는 흑연 보트형 가열로를 사용하면 2,000 °C까지 상승시킬 수 있고, 열처리하는 동안의 가열로의 진공도는 1 × 10⁻⁶ Torr 정도가 적합하다.

열처리 효과는 광학 흡수 스펙트럼을 사용하여 나타내어진다. 그림 1 에 천연 다이아몬드시

열처리 효과는 광학 흡수 스펙트럼을 사용하여 나타내어진다. 그림 1 에 천연 다이아몬드시

료 Type I과 Type II의 흡수 스펙트럼 파장을 나타내고 있는데 흡수 경계 파장에서 약 1,000 Å의 차이가 나타나는것을 제외하고는 두 시료의 특성은 유사하게 나타나 있다.

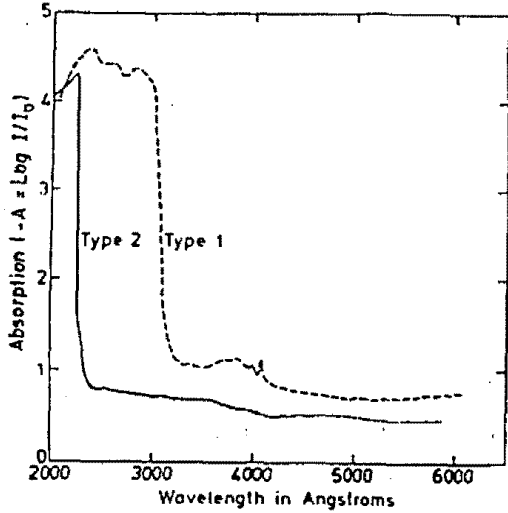


그림 1. 천연다이아몬드(Type IA와 IIA)의 흡수 스펙트럼

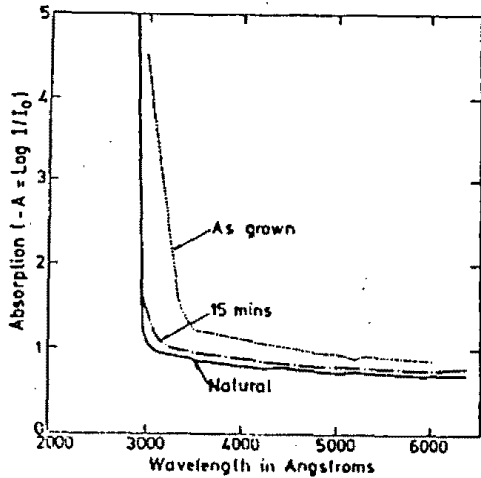


그림 2. 1μm 두께로 성장된 다이아몬드의 성장된 그대로의 상태와 1,600°C에서 다양한 시간으로 열처리된 천연다이아몬드 (Type IA)의 흡수스펙트럼

그림 2는 천연 다이아몬드 Type I A와 그위에 다시 1μm을 성장시킨 Type II A를 비교한것을 보여주고 있다. 후처리없이 성장시킨 그대로의 특성을 보면 내부구조 결함때문에 흡수가 커진것을 알 수 있다. 1,600°C에서 15분동안 열처리하면 성장된 박막의 흡수 특성이 감소되어 거의 천연석의 특성에 가까워진다. 이러한 특성은 이온빔으로 생성된 결함들은 주로 점결함들이며 단지 열처리 하는것만으로도 특성이 향상될 수

있다는것을 보여주고 있다.

그림 3은 천연석 Type I A 위에 5μm 두께의 다이아몬드 박막을 성장시킨후의 흡수 데이터를 보여 주고 있으며, 두께가 두꺼워 질수록 1μm 두께의박막에 비해서 흡수가 증가하고 있음을 보여주고 있다. 더우기 1,600°C에서 3시간동안 열처리하면 흡수 스펙트럼이 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 그러나 7시간 열처리 한것은 3시간 열처리 한것에 비해 거의 차이가 없는것은 점 결함 들이 거의 최소한의 수준으로 이미 감소되었음을 보여준다.

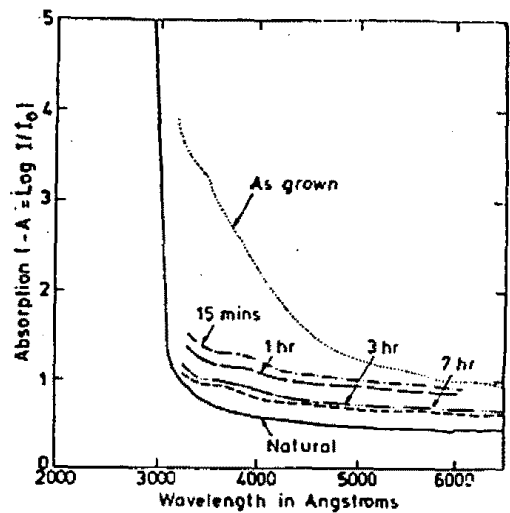


그림 3. 5μm 두께로 성장된 다이아몬드의 성장된 그대로의상태와 1,600°C에서 다양한 시간으로 열처리된 천연 다이아몬드의 흡수스펙트럼

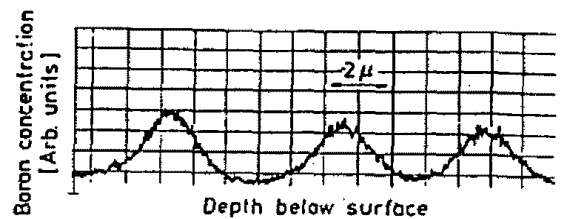


그림 4. SIMS를 이용해 측정된 박막다이아몬드 필름의 붕소도평형태

이온빔 성장법을 이용하여 박막다이아몬드를 만든후 붕소를 이용하여 도핑한후 열처리한 결과들 그림 4에 나타난 SIMS 곡선을 이용하여 보면, 붕소 이온빔으로 다이아몬드 성장시에 도핑하면 도핑이 이루어 질수 있다는 것을 알수 있다.

또한 그림 5에서 처럼 고온(1,600°C)에서 열처리 하는것이 저온에서 열처리 하는것 보다 훨씬

효율적이며 붕소로 인하여 흡수량이 10^6 배 까지 증가하는 것을 알 수 있다. 천연석과 같은 흡수 스펙트럼은 아직까지 얻지 못하고 있는데 이는 이온빔 사용으로 인한 결함들이 존재하기 때문인 것으로 생각된다.

2-4. 전기적 특성

다이아몬드 박막을 전자소자에 이용하기 위해서는 다이아몬드에 어떻게 하면 dopant 를 첨가할 수 있는지가 관건이다. 현재로서는 2가지 방법을 생각해 볼 수 있는데, 첫번째는 CVD 방법으로 성장시 기체상태에서 doping 하는 방법이고 두번째는 이온 주입법을 이용하는 방법이다.

Boron 을 이용하여 p형 반도체를 만드는 것에 대해서는 그 결과가 발표된바 있으나 n형 반도체는 bandgap 내에 donor 를 주입하는데 어려움이 따라서 아직은 특별한 진전을 이루고 있지는 않은 상태이다.

이온주입법으로 boron 을 p형 dopant 로 이용하는 것과 lithium 을 n형 dopant 로 사용하는 것에 대해 조사된바가 있다. Type II B의 다이아몬드 원석위에 $1\mu\text{m}$ 두께의 다이아몬드를 800°C 의 기판온도에서 성장시키고 1600°C 에서 3~7시간 동안 열처리하고 200°C 에서 $\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$ 용액으로 표면을 세정한후에 $800, 1,000, 1,200^\circ\text{C}$ 의 기판온도에서 30 Kev 리튬이온을 사용하여 $2.5 \times 10^{16} \text{ ion/cm}^2$ 로 주입한 후 측정된 전기적 특성을 살펴보기로 한다.

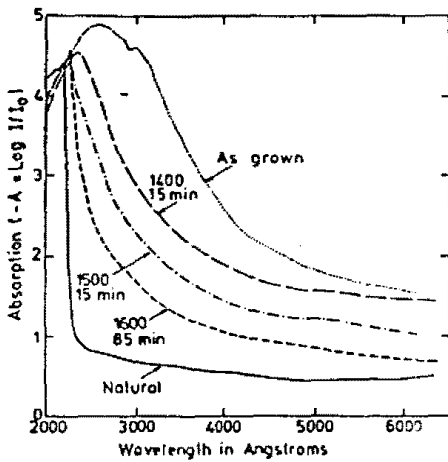


그림 5. 천연다이아몬드 Type II A 위에 $5\mu\text{m}$ 두께로 성장후 붕소로 도핑된 박막에 대해 열처리 시간과 온도의 변화에 따른 흡수스펙트럼

그림 5는 리튬주입량에 따른 표면 저항 변화를 나타낸것이다. 리튬주입분량과 표면 저항의 연관성을 나타낸것은 흥미로운 일이다. $1,200^\circ\text{C}$ 에서 보다 800°C 에서 주입 했을때 더작은 저항을 나타내었다. 이것은 아마도 고온에서의 열처리로 인하여 결함이 감소한 것으로 생각된다.

그림 6에서 볼 수 있는것과 같이 탐침법으로 측정된 접합부의 I-V 특성은 상온부터 350°C 에 걸쳐서 좋은 특성을 보여 주고 있다. 리튬 영역이 역바이어스일때 상온에서 100V가 넘는 항복 전압을 나타내고 있음을 알 수 있다.

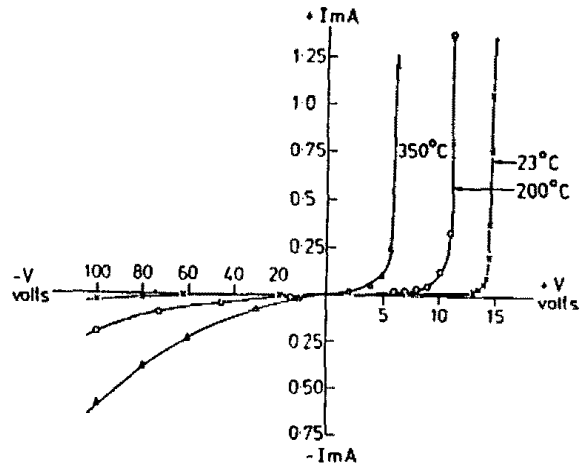


그림 6. 리튬이 주입된 다이아몬드 (Type IIb)의 P-N 접합 특성

또한, -75V 에서 누설전류는 $10\mu\text{A}$, 리튬 영역이 정바이어스이면 14V 에서부터 누설전류가 급격히 증가 (15V 에서 1mA 이상)하는것을 알 수 있다.

3. 결론

다이아몬드나 다이아몬드 필름의 후처리 공정은 팜학용이나 전자기기등에 응용하기 위해서는 중요하게 다루어져야 할 부분이다. 본 고찰에서는 다이아몬드의 특성을 향상시키기 위한 여러 가지 후처리 방법에 대하여 논 하였다.

전자소자 제작에 이용하는 박막다이아몬드는 현재까지는 고가의 다이아몬드 기판 위에서만 실현이 가능한 수준이나 기술적인 진보가 이루어져 일반 재료를 이용하여 팜범위한 제작이 가능해 진다면 앞으로 그 가능성은 무한하다고 할 수 있겠다.

REFERENCES

1. J.E.Field, "The Properties of Diamond", Academic press(1979).
2. M.W.Geis et al., IEEE Electron Device Letters, EDL- 8, 346, (1987).
3. H.Shiomi et al., Jap. J Appl. Phys., 28, L2153, (1989).
4. R.S.Nelson et al., Proc. Roy. Soc., A386, 211, (1983).
5. R.E.Harper N.Blamires, P.R.Chalker, Diamond Films '90, Crans-Montana, Switaerland, 1990.
6. C.Johnston, Diamond Films '90, Crans-Montana, Switzerland, 1990.
7. J.Mort et al., Appl. Phys. Lett., 55, (11), 1121, 1989.
8. B.Spitsyn, Diamond Films '90, Crans-Montana, Switzerland, 1990.
9. G.Braunstein and R.Kalish, Conference on Ion Beam Modification of Materials, Albany, July, 1980.
10. K. Kobashi, NEDO Funded Kobe Steel-NCSU-Harwell Diamond Proframme, 1990.