

## 수소화된 박막 비정질 Ge 반도체의 전기적 응답속도 향상 방안 Enhancement of Response Speed in a-Ge:H Thin Film Semiconductor

崔 圭南\*

\*시립인천전문대학 통신과

Kyoo Nam Choi\*

\*Dept. of Communication Eng., Junior College of Incheon

### ABSTRACT

The response speed enhancement in picosecond photoconductor made from RF planar magnetron sputtered hydrogenated amorphous germanium thin film is discussed. Pulsed laser annealing technique was used to fabricate the highly conductive ohmic contacts and to remove the shallow defects in the deposited photoconductive film using the different laser powers. Measured V-I curve showed ~5 times bigger conductance in photoconductive gap than the one used by the conventional vacuum annealing method using strip heater.

#### 1. 서론

광대역 근거리 광통신망 (광 LAN) 에는 ~0.87 $\mu\text{m}$  파장의 광을 사용하므로 수광소자도 거기에 응답할 수 있도록 광흡수 대역폭을 가져야 하며 초광대역의 특성을 만족하기 위해서는 피코초 단위의 펄스폭을 갖는 광펄스에도 응답할 수 있음이 바람직하다고 하겠다. 현재는 광신호를 전기적 신호로 변환하기 위해서는 광도파로에 별개의 실리콘 수광소자를 접착시키고 광섬유를 광집적회로에 거의 밀착시키는 butt 접속법을 사용하나 정밀하게 광정렬을 하는것이 상당히 어렵다고 할 수 있겠다.

광집적회로의 고밀도화와 양산성을 위하여서는 별도의 결정질 실리콘 수광소자를 광도파로에 일체화 하는것이 바람직하나 광도파로 재료와 수광소자의 재료가 상이하므로 부득히 광도파로에 박막반도체를 성장시켜 수광소자로 사용

하여야 할 것이다. 실리콘은 기동성을 좋게하기 위하여 박막 증착시 수소화를 시키는데 이 때문에 광흡수 파장 대역이, 수소화 정도에 따라 다르지만, 가시광선 대역에 머무르게 되어 광 LAN에 사용되는 근적외선을 포함하기 위하여는 보다 적은 band gap 을 가진 반도체를 사용 하여야 하는데, 이때 광식각 방식으로 간단히 제작 할 수 있는 구조로서 근적외선 파장 대역을 흡수 할 수 있는 박막 반도체 재료로는 수소화된 germanium [1] 이 가장 적합한 재료가 될 수 있을 것이다. 본고에서는 ~0.87  $\mu\text{m}$  광파장 대역에서 사용 가능한 a-Ge:H 박막 반도체 재료의 변조 주파수 대역폭을 넓히기 위하여 전기적 응답속도를 향상 시킬 수 있는 방안을 요약 검토하였다.

#### 2. 전기적 응답속도 결정 요소

박막 광반도체에 광신호로 변조된 광자가 흡

수되어 전자-정공쌍이 발생하는 과정은 극히 짧은 시간안에 일어나므로 문제가 되지 않으나 여기후에 광전변환된 전류는 여러가지 응답속도 제한요인이 영향을 미치게 된다.

입사된 광자의 에너지가 광도전에 필요한 임계에너지와 열에너지  $kT$ 를 합한 에너지보다 크면 여분의 에너지는 분자의 phonon 방사로 이어져서 자유전자의 기동성이 순간적으로 변하게 되어 반도체 재료에 따라 펄스의 상승시간이 피코초대에서 나노초대까지 변하게 된다.

그러나 발생한 전자-정공의 재결합 하는 과정은 훨씬 천천히 일어나므로 긴 꼬리모양의 전류파형을 야기시켜 피코초대의 초고속소자에 응용시 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 긴 꼬리모양의 전류파형을 줄이는 방법으로 역바이어스를 이용할 수 있으나 캐리어 속도가 포화되는 현상과 p-n 접합부의 광전효과에 의한 전류발생으로 인하여 샘플링게이트와 같은 초고속 피코초대의 수광소자에는 p-n 접합을 가진 수광다이오드가 적합치 않게된다.

전기적 응답속도 향상을 위하여, 고에너지 입자를 이용한 반도체 분자구조파손[2], 불순물 주입[3], 비정질이나 다결정 반도체 분자내 자연결합[4]과 같은 방법들이 이용되고 있다. 자유전자가 반도체내에서 이동시 분자내 파손부의 trap에 빠지거나 파손부에서 재결합하여 소멸되므로써 결과적으로 자유전자의 수명을 짧게하는 방법이 전기적 응답속도 향상에 효과적[5]으로 알려져 있다.

자유전자의 수명( $\tau$ )은 함정밀도를  $N_t$ , 전자포획단면적을  $A_t$ , 평균열속도를  $\langle V_{th} \rangle$ 라 할때  $\tau = 1/(N_t \cdot A_t \cdot \langle V_{th} \rangle)$ 과 같이 표시될 수 있다. 여기서 자유전자의 수명을 결정하는 반도체 결합의 정도는 분자내 결합을 야기시키는 원인과 강도에 따라 상이하며 전기적 응답특성도 다르다고 할 수 있겠다. 그러나 분자구조 파손의 정도가 심할때는 응답속도 향상으로 이어지는 자유전자의 수명감소 관점에서는 유리한 점이 있지만 다른 측면에서는 불리한 점도 있다고 하겠다.

유리한 점으로는 첫번째 페르미준위가 중간 위치로 이동하여 암전류가 감소되고, 두번째로는 band 들 사이에 새로운 state 들이 생겨나서 입사광에 대한 흡수대역폭이 넓어지는 점을 들 수

있다. 세번째로는 ohmic contact 형성이 용이한 점일 것이다. Dopant 가 없는 순수한 반도체는 반절연체 이므로 전자와 정공에 대해서 저저항 이면서 정류작용을 하지 않는 ohmic contact 를 형성하는 것이 어려우나, 반도체 분자결합의 정도가 상당히 큰 박막 반도체에서는 특별히 후처리를 하지 않아도 어느정도 ohmic 특성을 가질 수 있는 것으로 알려져 있으며 이는 depletion 층이 아주 얇으므로 전류가 doping 된 반도체 경우 보다는 tunnel 현상때문에 효율적으로 흐를 수 있을 것으로 유추해 볼 수 있을 것이다. 그러나 자유전자의 수명을 짧게 하기 위하여 분자구조결합 밀도를 크게할때 불리한 점은 결합부위로 인한 분산의 증가로 캐리어 기동성이  $\mu \propto 1/N$ , 과 같이 현저하게 저하되는 점을 들 수 있을 것이다.

또 한가지 고려되어야 할 점은 분자내 결합 밀도가 아주 높으면 결합부위들 사이에 터널효과에 의해 trap 에 갇힌 캐리어들이 열방사 없이 재결합 할 수 있다는 점이다. 이런 이유로 결합 밀도를 다소 높게 잡는것이 응답속도를 빠르게 하는데는 유리 할 것이다.

Trap 과는 별도로 비교적 빠른 방출율을 가지고 있는 얇은 결합들은, 펄스의 측정시간보다 방출시간이 더 짧은 경우에는 자유전자를 포획하여 짧은 시간안에 방출하기 때문에 결과적으로 캐리어의 기동성이 저하되는 결과를 낳게된다.

따라서 위에 열거한 사항들이 최적이 될 수 있도록 재료 및 결합을 만드는 방법들을 조절하는 것이 응답속도 향상을 위하여 필수적일 것이다.

### 3. 전기적 응답속도 향상 방안

광집적회로에 적용가능한 전기적 응답속도 향상 방안으로 비정질 반도체 분자내 자연결합을 이용하는 방법을 채용하여 소자를 제작하였다. 활성층은 마그네트론 스퍼터링 방법으로 99.99% 순도의 germanium 타겟으로  $5 \times 10^{-6}$  Torr 까지 진공을 만든후 2.8 sccm 의 아르곤과 13.8 sccm 의 수소를 흘리면서 총기체 압력이 3 mTorr 가 되도록 하여 유리기판위에 증착시켰다. 증착하는 동안 기판온도는  $150^\circ\text{C}$  를 유지시켰고 고주파출력은 40 W 로 고정시켜 증착속도가  $\sim 0.5 \text{ \AA}/\text{sec}$  가 되도록 하여  $0.5 \mu\text{m}$  두께의 a-Ge:H 활성층을 만들었다. 유리기판위에 증착된 a-Ge:H

위에 0.12  $\mu\text{m}$  두께의 알루미늄과 0.2  $\mu\text{m}$  두께의 금으로 된 금속전극을 진공히터증발기를 이용하여 증착시켜 그림 1과 같은 모양의 광도전수광소자를 제작하였다.

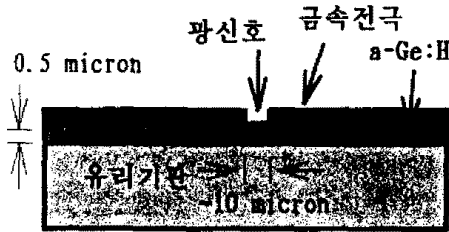


그림 1. 광도전수광소자 단면도.

비정질 반도체에서는 특별한 후처리 없이도 ohmic 특성을 얻기가 용이하지만, 광발전효과를 최소화하고 광전변환후 펄스파형의 꼬리를 짧게 하기 위하여 Nd:YAG 펄스레이저 (50 nsec 펄스 폭과 2 kHz 반복율) 를 사용하여 수광부분으로 이어지는 microstripline 을 가열하여 ohmic 특성을 향상시키고자 하였다. 레이저는 0.53  $\mu\text{m}$  파장을 사용하여 500 배의 대물렌즈로 12.5  $\mu\text{m}$  직경안에 출력을 모으고 초당 12 mm 의 속도로 주사하였다. 레이저의 평균출력을 0.44 mW 에서 0.8 mW 까지 연속적으로 6 단계 변화 시켰을 때의 점점 시료의 현미경 확대 모양(각각 0.2mm x 0.25mm 면적)은 그림 2와 같다.

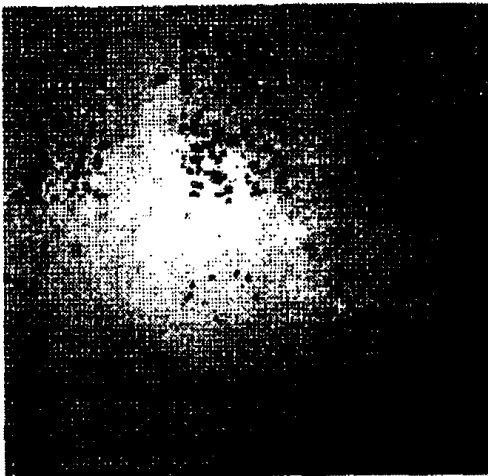
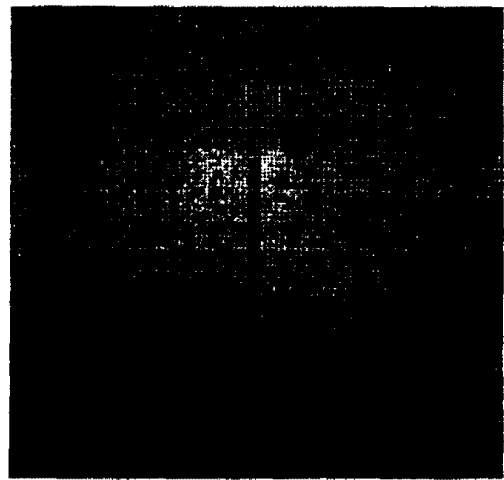


그림 2. 펄스레이저의 인가 출력 (좌하-우하-좌상-우상 으로 증가)에 따른 ohmic 접점 형성 모양.

시료에서 얻어진 레이저 가열 효과를 토대로 0.65 mW 레이저 출력으로 실제 광도전수광소자의 ohmic contact 를 그림 3(a)와 같이 제작하였다. 사진에서 ohmic 접점간 간격은 광신호가 집속되는 a-Ge:H 수광부분으로 약 10  $\mu\text{m}$  간격이다. 또한 비교를 위하여 기존의 진공 열처리 방식에 의해서도 그림 3(b)와 같이 광도전수광소자의 ohmic contact 를 제작하였고 이때 열처리 조건은 수소분위기 하에서 430°C 로 2분간 하였다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 레이저가열로 Ohmic contact 가 형성된 광도전수광소자의 현미경 확대 사진, (b) 기존의 진공 열처리 방식에 의한 Ohmic contact 사진.

펄스레이저 가열에 의해 형성된 ohmic contact 의 효율성을 조사하기 위하여 가열전 시료와 기

존의 진공열처리 방법에 의한 시료, 펄스레이저 가열에 의한 시료들의 인가전압에 따른 전류 (V-I) 특성을 그림 4 와 같이 측정하여 보았다.

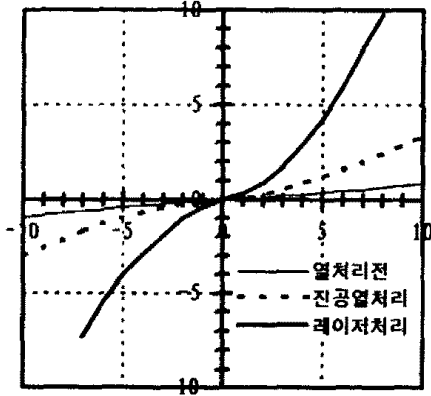


그림 4. a-Ge:H 광도전 수광소자의 Ohmic contact 형성방법에 따른 V-I 암전류 특성.

위 그래프에 나타난 결과와 같이 펄스레이저 가열방법은 기존의 진공열처리 방법과 비교하여 5 배이상 도전성을 향상 시켰음을 알수있다.

광신호를 수광하는 a-Ge:H 활성층에 대해서도 동일한 조건으로 펄스레이저를 사용하여 열처리 실험을 한 결과, 0.6 mW 레이저 평균출력까지는 박막에 손상을 주지않고 열처리가 가능했으며 0.44 mW 평균출력까지는 결정구조에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 유리 기판위에 증착된 a-Ge:H 박막을 사용하여 ~0.87  $\mu\text{m}$  파장에서 광전변환 가능한 광도전수광소자를 제작하였다.

금속-반도체 접점에서의 정류작용과 광발전효과로 인한 긴 꼬리 모양의 전류 파형을 억제 하기 위하여 광신호 수광 부분으로 연결 되는 microstripline 에 대하여 펄스레이저를 이용한

ohmic contact 형성법이 사용되었고, a-Ge:H 내 캐리어의 기동성 향상을 위하여 수광부분의 a-Ge:H 박막에 대해서는, microstripline 과는 다른온도로 가열하여 얇은 결합들을 제거하도록 하였다. 기존의 진공에서 히터를 사용하여 전극과 활성 박막층을 동일 온도로 후처리 하는 방법보다, 본고에서 펄스레이저를 이용하여 후처리 하는 방법은 ohmic contact 형성과 수광반도체 박막을 각기 다른 온도와 모양으로 최적화 할 수 있으므로 기존의 방식보다 응답속도 향상에 효율적이라 할 수 있겠다.

#### 참고문헌

- [1] P. D. Persans et al, "Optical properties of a-Ge:H - structural disorder and H alloying," *Optical Effects in Amorphous Semiconductors, AIP Conf. Proc. No.120, Snowbird Utah*, pp.349-355, 1984.
- [2] D. H. Auston, P. Lavallard, N. Sol, and D. Kaplan, "An amorphous silicon photodetector for picosecond pulses," *Appl. Phys. Lett.*, vol.36, pp.66-68, 1980.
- [3] F. J. Leonberger and P. F. Moulton, "High-speed InP optoelectronic switch," *Appl. Phys. Lett.*, vol.35, pp.712-714, 1979.
- [4] D. H. Auston, A. M. Johnson, P. R. Smith, and J. C. Bean, "Picosecond optoelectronic detection, sampling, and correlation measurements in amorphous semiconductors," *Appl. Phys. Lett.*, vol.37, pp.371-373, 1980.
- [5] P. R. Smith, D. H. Auston, and W. M. Augustyniak, "Measurement of GaAs field-effect transistor electronic impulse response by picosecond optical electronics," *Appl. Phys. Lett.*, vol.39, pp.739-741, 1981.