

펄스파워용 X線制御 半導體스위치의 基礎研究

A Basic Study on X-ray Controlled Semiconductor Switch for Pulse Power

高 光 哲*

(Kwang-Cheol Ko)

Abstract - The conductivity variation of a high resistivity bulk silicon semiconductor, whose electrodes were deposited with aluminum vapor, was studied experimentally by measuring the X-ray intensity and current flow, which was developed by X-ray radiation while applying a pulse voltage to the silicon, in a load resistor connected to the semiconductor. The current flow observed immediately as the X-ray radiated, and when the X-ray radiation disappeared the current was decayed with a time constant longer than pulse width of the X-ray and the time constant increased as the intensity of the X-ray decreased. It was found from the observation of switching current for the X-ray intensity and the voltage applied in the semiconductor that the switching current of the semiconductor increased as the intensity of the X-ray and the applied voltage increased. In case of lower applied voltage, the switching current was mainly produced by electron. On the other hand, the switching current for higher applied voltage depended on the intensity of the X-ray radiated due to the saturation of electron and hole.

Key Words : X-ray Controlled Semiconductor Switch(X선제어 반도체스위치), Bulk Silicon(벌크형 실리콘), Pulse Power(펄스파워), Switching Current(스위칭 전류)

*正 會 員 : 暎園大 工大 電氣工學科 傳任講師

接受日字 : 1992年 2月 28日

1次修正 : 1992年 5月 25日

1. 서 론

빛[1]이 물질에 흡수되면 이 물질의 도전율이

증가하는 광도전효과는, 적외선이나 가시광선과 같은 장파장의 빛뿐만 아니라 고속전자나 X선과 같은 전리성방사선에 의해서도 일어남이 관측되고 있다. 이 효과는 광전자증배관, 광도전스위치, 방사선검출기 및 센서등 여러가지 소자에 응용되고 있다. 본 연구는 이 광도전효과를 대전력 펄스파워 스위치에 적용하기 위한 연구로, 특히 X선을 트리거광원으로 이용하려고 하는 것이다.

광자에너지가 큰 단파장의 전리성방사선을 이용한 스위칭소자를 실현하려고 할 경우, 가장 중요한 파라미터는 한쌍의 전자·정공을 만드는데 필요한 광자의 에너지이다. 공기중에서 한개의 이온쌍을 만들기 위해 약 30eV의 에너지가 필요한 것에 비해, 실리콘과 같은 반도체의 경우는 약 3eV의 광자에너지로 충분하다[2]. 따라서 똑같은 광자에너지일 때 실리콘에서는 기체에 비해 약 10배 정도 많은 수의 전하캐리어가 생성된다.

장파장의 빛으로 구동시키는 반도체스위치에 관한 지금까지의 연구에 있어서는 [3~9], 벌크형 실리콘에 인가할 수 있는 전계와 전류밀도에 대한 이론적 한계값이 각각 100kV/cm와 100kA/cm²이므로[10], 벌크형 실리콘은 10GW/cm³의 대전력 펄스파워 스위칭소자로서 충분히 이용할 수 있다. 이 방법을 실용화하기 위해서는 실리콘의 도전율을 외부로부터 제어하는 적절한 트리거광원의 선택, 실리콘 표면에서의 섹라현상의 방지법, 전극을 포함한 스위치의 구조등을 구명하지 않으면 안된다. 장파장의 빛은 실리콘의 흡수깊이를 고려하면[11], 고체 표면의 극히 얇은 부분밖에 흡수되지 않으며, 또 넓은 면적에 대한 균일한照射가 곤란하므로, 표면에서의 섹라이나 국부적인 절연 파괴가 일어날 우려가 있다. 그러나 X선의 경우는 넓은 면적에 대한 균일한照射가 가능하고, 더구나 두께방향으로 긴 거리에 걸쳐 흡수되므로 이들 장파장의 빛을 사용한 경우의 문제점이 해결되어, 스위치의 대전력화를 도모할 가능성이 있다.

X선을 반도체에照射해 스위칭소자로 응용하려는 연구는 아직 없지만, 절연물에 X선을照射해서 도전율 변화를 연구한 보고는 있다[12]. 한편 목적은 다르지만 방사선을 검출하기 위한 반도체검출기의 연구가 수행되고 있는데 이에 관한 결과는 좋은 참고가 되며, 반도체검출기에서는 에너지분해능을 올리기 위해, 방사선이照射되었을때 반도체중의 도전율의 변화가 큰 것이 좋으므로, 이것을 근간으로 한 연구가 수행되었다[2]. 반도체검출기의 경우는 측정용소자이므로, 입사된 광자에 의해 발생된 캐리어만 필요하므로 한쪽의 전극은

반드시 非注入性電極을 사용한다. 그러나 스위치로서 이용할 경우에는 한쪽의 전극으로부터 다른 쪽의 전극으로 캐리어가 이동하지 않으면 안되므로, 非整流性電極인 오음접촉이 필요하다. 또 대전류를 흐르게 하기 위해서는 벌크중에 전자사태 현상이 일어나도록 해야 하며, 오음접촉은 正負의 전하가 모두 자유롭게 흘러 들어갈 수 있는 전극이다. 반도체의 양면에 두개의 오음접촉을 설치해 전원회로에 접속하면, 반도체중에는 전하캐리어농도의 평형이 유지된다. 한쪽의 전극에 전자 혹은 정공이 한개 모이면, 반도체중에 평형농도를 유지하기 위해 다른쪽의 전극으로부터 같은 종류의 캐리어가 주입된다. 이를 주입효율이라고 하는데, 이 효율이 크게 될수록 스위치의 道通시간은 길어진다.

본 연구에서는 알루미늄전극을 증착시킨 고저항 벌크형 실리콘반도체에 펄스전압을 인가하고, 펄스전압이 가해지고 있을 때 X선을照射해 반도체에 접속된 부하저항에 흐르는 전류와 X선 강도를 측정하므로써, 반도체중의 도전을 변화를 실험적으로 연구·고찰하였다. 또 대전력 펄스파워스위치로서 발전시키기 위해 해결해야만 할 여러가지 문제점을 검토하였다.

2. 實驗裝置와 方法

본 실험에 사용한 실리콘은, 저항율이 약 10 kΩ·cm의 n형 고저항 반도체로서 실리콘의 크기는 20×10×0.6mm이다. 실리콘에 금속의 전극을 붙이기 위해서는 먼저 증착에 의해 금속박막을 실리콘표면에 형성시킨다. 증착을 하기 전에 실리콘의 표면에 유기물이 남지 않도록 세척해야 한다. 만약에 유기물이 남은 채로 전극을 증착시키면, 완전한 오음접촉이 되지 않으므로 금속과 반도체의 경계면에 정류특성이 생겨, 전극으로부터 캐리어의 주입효율이 나빠지므로 스위칭효율이 떨어지게 된다. 또 대전류를 흘렸을 경우 금속전극이 반도체에서 박리될 우려가 있으며, 실용적인 스위칭소자로 사용될 때 수명이 짧아진다. 따라서 대전력화를 도모하는데 있어서 전극의 증착이 중요한 인이 되는데, 최근에는 세척기술이 상당히 확립되어 있으므로 그다지 문제는 되지 않을 것이라고 생각된다. 전극 재료로는 알루미늄을 사용했다.

전극을 증착한 이외의 부분도 세척하지 않으면 고전압에서 사용할 경우, 유기물에 의해 실리콘 표면에 전류가 흐를 염려가 있어서 실리콘 본래의 스위칭특성을 연구할 수가 없다. 그림 1(a)는 실

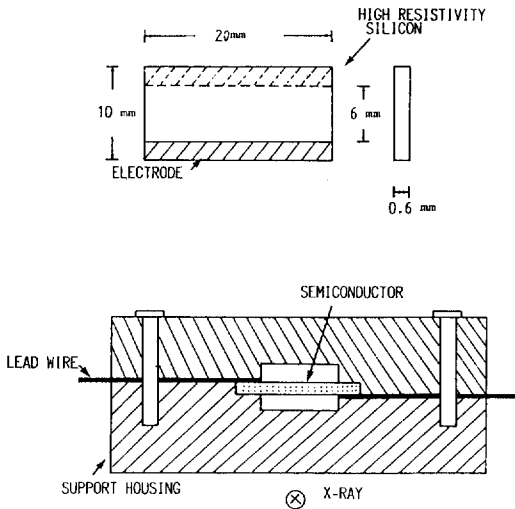


그림 1 (a) 실리콘의 치수와 전극위치
 (b) 실리콘의 수납상태
Fig. 1 (a) Dimension and electrode position of silicon
 (b) Housing situation of silicon

리콘에 대한 전극의 증착위치를 나타내며, 내전압을 높이기 위해 알루미늄전극은 실리콘의 앞쪽과 뒤쪽에 증착시켜 섬락전압이 크게 되도록 하였다. 벌크반도체의 내전압과 홀릴 수 있는 전류는 각각 전극간 거리와 단면적으로 정해지며, 본 실험에서 사용한 실리콘의 경우 전극간 거리는 6mm이고, 면적은 0.12cm^2 이므로 서론에서 설명한 이론적 한계값에 의해 추산하면, 60kV와 12kA가 되어 720 MW의 스위칭파워의 능력을 가진다. 그러나 벌크 자체는 이와 같은 전압에 견딜 수 있지만, 표면을 경로로 한 전극 사이에 섬락이 일어나고 전류가 커지면 벌크중에 열에 의한 캐리어의 폭주가 일어나 스위치로서의 역할을 할 수가 없다. 또 실리콘의 저항은 무한하게 큰 것이 아니므로 전극간에 전계를 인가하면 벌크중에 약간의 누설전류가 흐른다. 따라서 실제적인 스위칭파워의 능력은 이론치보다도 낮아지게 된다.

그림 1(b)는 이 실리콘의 수납상태를 나타낸다. 이 지지대는 아크릴로 되어 있으며, 실리콘과 리이드선을 넣고 나사로 조이게 되어 있다. 실리콘의 알루미늄전극으로부터 얇은 동판의 리이드선을 내어 이 두개의 리이드선은 전원과 부하에 각각 접속되어 있다. 고전압을 인가했을 때 아크릴과 실리콘의 경계면을 따라 연면방전이 일어나지 않

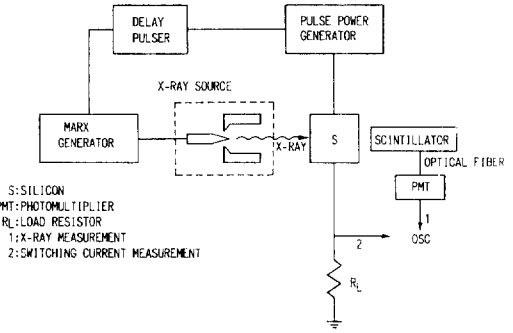


그림 2 실험장치의 개략도
Fig. 2 Schematic block diagram of experimental setup

도록 지지대의 중심에 홈을 파서 아크릴이 실리콘 전체와 접촉하지 않도록 했다. 실리콘에 대한 X선照射는 그림의 정면에서 지면 안으로 통과하는 방향으로 했으며, X선과 실리콘이 상호작용하는 거리는 20mm이다. 본 실험에 있어서 실리콘의 지지대, 부하, 전원입력코넥터 및 전압·전류의 측정코넥터를 하나의 차폐상자에 넣어 측정노이즈의 발생을 방지했다.

그림2에 본 실험의 개략도를 나타낸다. 지연 펄스발생기를 이용해 X선을 발생시키기 위한 Marx 전원을 트리거하는 시간과, 실리콘에 펄스전압을 인가하는 시간을 조정해, 실리콘에 펄스전압이 걸려 있을 때 X선이照射되도록 하였다. X선照射에 의해 실리콘에 생긴 도전을 변화시키기 위해 실리콘에 직렬로 연결된 부하저항에 흐르는 전류를 측정하였으며, 이 때 발생한 X선을 플라스틱 신틸레이터(NE102A; 섬광 검출기)로 실리콘의 뒤쪽에서 동시에 측정했다. 본 실험에서 사용한 X선원의 특성은 이미 충분히 연구되었다[13] X선의 측정에 있어서도 Marx전원으로부터 발생하는 전자노이즈를 막기위해, 신틸레이터를 실리콘이 들어 있는 차폐상자에 함께 넣었다.

3. 實驗結果

3.1 X線에 의한 실리콘의 導電率 變化

그림 3에 본 실험에서 얻어진 X선을照射했을 때 실리콘에서 스위칭한 전류와 이 때의照射된 X선의 파형을 나타낸다(Digitizing Osc HP 54200A로 측정). 실리콘에서의 전류는 X선을照射한 순간 흐르기 시작한다. 이 파형에 있어서 실리콘에 전류가 흐르기 시작하는 시각이 X선照射의 개시

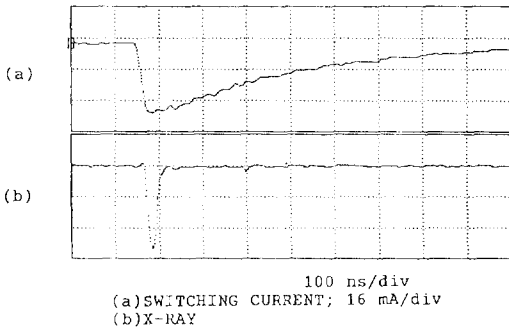


그림 3 X선을 照射했을 때 실리콘에 흐르는 전류와 X선과형
Fig. 3 Typical waveforms of switching current while X-ray radiated and X-ray intensity

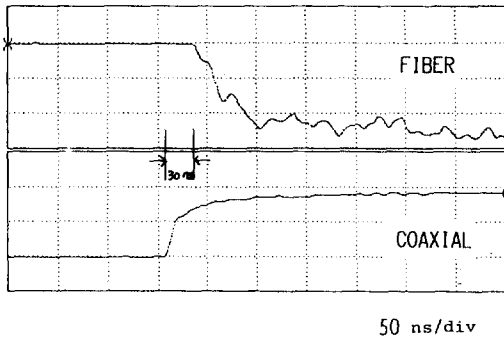


그림 4 동축케이블과 광섬유의 전송시간차
Fig. 4 Difference of signal transmission time in coaxial cable and optical fiber

시각보다 앞서 있는데, 이는 신호의 전송시간에 의한 것으로 이에 대한 교정을 그림 4에 나타낸다. 이 파형은 본실험과 똑같은 조건하에서 측정 한 것으로, 광섬유와 동축선의 길이가 다르기 때문에 광섬유를 사용해 측정하는 X선 신호는 동축선을 사용해 측정하는 전류 신호에 비해 약 30ns 늦다는 것을 알 수 있다. 따라서 실리콘에 흐르는 전류는 X선 照射에 의해 실리콘 벌크중에 도전율이 변화한 결과로 생긴 것이다. 이 때 X선을 발생시키기 위한 5단 Marx전원의 1단당 충전전압은 20kV이며, 발생한 X선의 FWHM(半値幅)은 24 ns이다. 또 실리콘에 인가한 전압펄스는 펄스폭이 3 μ s, 전압은 5kV이다. X선을 照射했을 때 실리콘에 흐른 피크전류는 36.5mA이다. X선을 照射하지 않은 채 펄스전압을 인가할 경우 실리콘의 저항은 무한하게 큰 것이 아니므로 벌크중에는 약

간의 누설전류가 흐른다. 이 파형에 있어서 스위칭전류가 흐르기 전의 누설전류는 2.6mA로, 실리콘벌크의 저항값은 약 1920k Ω 이다. 따라서 X선을 照射했을 때의 저항값은 130k Ω 으로 변해, 도전율은 약 15배 변화한 것이 된다. 한편 그림 1(b)의 지지대 위쪽에서 아래쪽 방향으로 X선을 照射한 경우, 스위칭전류는 관측되지 않았다. 이는 실리콘의 두께가 0.6mm로 얇아 실리콘과 상호작용하지 않은 채 X선이 통과해 벌크중에는 캐리어가 거의 생성되지 않았기 때문이다. 따라서 그림 3에 나타난 전류는 실리콘 표면의 연면방전에 의해 흐른 것이 아니라 X선과 실리콘이 상호작용한 결과 발생한 캐리어에 의해 벌크중에 흐른 것을 나타낸다.

그림 3에 있어서 X선 照射후의 전류감쇠는 전극의 낮은 주입효율 혹은 캐리어의 포획에 의한 것이라고 생각된다. 이 소자에서의 캐리어의 수명은 약 700ns이므로, 스위칭전류는 X선에 의해 생성된 많은 캐리어가 전계가 가해 있는 동안에 스위치의 밖으로 제거되는 과정에서만 흐르므로 캐리어는 점점 감소된다. 따라서 주입효율이 나쁜 전극의 경우 새로운 캐리어가 주입될 수가 없어서 스위치의 저항이 높아져 그 결과 회로의 전류가 낮아진다. 이 결과를 토대로 대전류를 긴시간 道通시키기 위해서는 전극으로부터의 캐리어 주입효율을 높여야만 한다. 즉 증착에 의해 반도체에 금속전극을 형성시킬 때에는 될 수 있는 한 선형의 V-I 특성이 되도록 주의해야 한다.

3.2 스위치 特性

그림 5는 X선을 발생하기 위한 Marx전원의 1단당 충전전압에 대한 실리콘의 스위칭전류를 나타낸다. 또 충전전류의 크기는 발생하는 X선의 강도와 관계된다. 이 때 그림중의 기호는 실리콘에 인가한 펄스전압의 값이며, X선원으로부터 75mm 떨어진 곳에 실리콘을 놓고 측정한 것이다. 이 그림에서 표시한 데이터는 똑같은 조건으로 세번 측정한 것을 평균한 것이다. 이 결과로부터 X선을 照射한 경우 X선의 강도가 클 수록, 또 실리콘에 인가된 펄스전압이 클 수록 실리콘에서 스위칭되는 전류는 크게 된다는 것을 알 수 있다.

이 그림에서 실리콘에 인가한 펄스전압이 1kV 인 경우가 다른 전압에 비해 스위칭되는 전류가 비교적 작은 것은, 전자·정공의 드리프트속도를 전계의 함수로 나타낸 그림 6을 참고로 하면 이해할 수 있으며[14], 그림중의 수치는 절대온도를

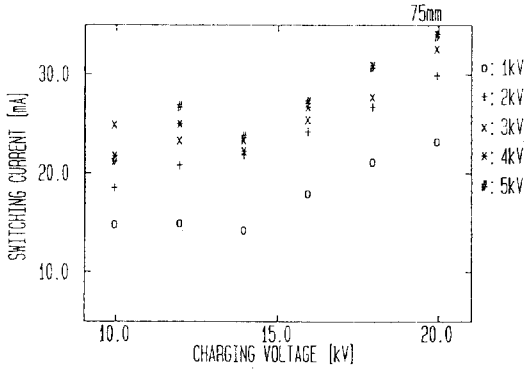


그림 5 충전전압에 대한 실리콘의 스위칭전류
Fig. 5 Switching current of silicon for charging voltage

나타낸 것이다. 본 실험에서 사용한 실리콘에 1 kV의 전압을 인가하면 전계는 약 1.6kV/cm가 되며, 2kV의 전압을 인가하면 전계는 약 3.3kV/cm가 된다. 실험은 상온에서 했으므로 그림 6의 300 K에 대한 곡선을 참고로 한다. 1kV의 경우 전자의 이동도는 약 $2 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 이고, 정공의 이동도는 그림중에는 없지만 낮은 전계 쪽으로 연장하면 약 $5 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 가 된다. 한편 2kV의 경우는 전자의 이동도는 약 $4 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 이며 정공의 이동도는 $1.5 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 이다. 따라서 2kV이상의 경우는 스위칭되는 전류는 전자와 정공의 두 캐리어에 의한 것인데, 1kV의 경우 X선照射에 의해 생긴 정공은 전극 사이를 이동하는 속도가 느리므로, 벌크중에서 재결합 또는 포획되어 소실되므로 스위칭전류는 주로 전자에 의한 것이며, 정공에 의한 전류는 거의 없기 때문에 스위칭전류는 작아진다. X선의 강도가 클 때, 즉 그림 5의 충전전압이 15kV 이상일 때 실리콘에 인가한 전압이 4kV 이상인 경우 스위칭하는 전류는 거의 같다. 이는 실리콘에 인가한 전압이 커지면, 그림 6에서 알 수 있는 것처럼 전자와 정공의 이동도가 포화속도에 가까워지므로 스위칭하는 전류는 거의 照射한 X선의 강도에만 의존하기 때문이다.

또 Marx전원의 1단당 충전전압이 14kV일 때 실리콘에 대한 모든 인가전압에 대해 스위칭하는 전류가 갑자기 낮아지는 것이 관측되었다. 하나의 인가전압에 대해 세번씩 모두 15번의 실험을 했는데 모든 실험 데이터가 이런 경향을 나타내고 있으므로 실험적 오차라고는 생각되지 않는다. 그러나 이러한 현상이 왜 일어나는 것인가에 대해서는 아직 규명하지 못했으나 실리콘을 스위치에 응용

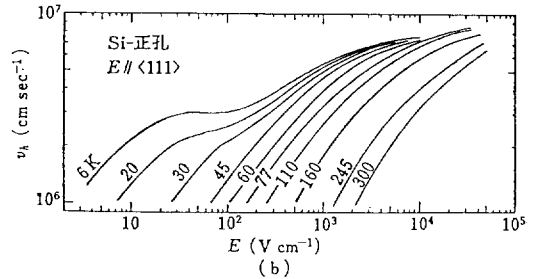
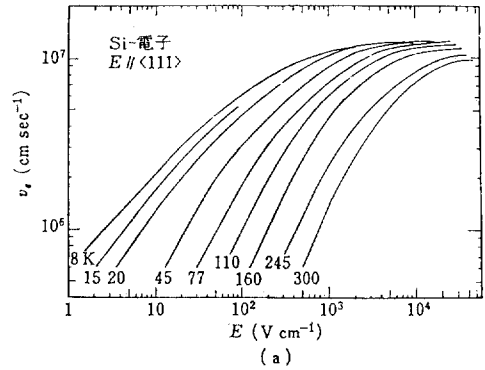


그림 6 실리콘의 전자와 정공의 전계에 대한 드리프트속도
Fig. 6 Drift velocity as a function of electric field for electrons and holes in silicon

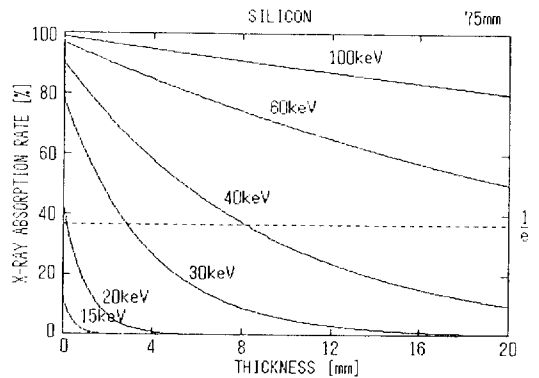


그림 7 실리콘에서의 광자에너지에 대한 X선의 흡수율
Fig. 7 X-ray absorption with respect to several photon energy in silicon

하기 위해서는 검토할 필요가 있다. 이에 대한 하나의 해석으로서 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉 벌크중에서의 도전율 증가는 입사X선이 물질과 상호작용한 결과 생성된 2차전자에 의해 전리되었기

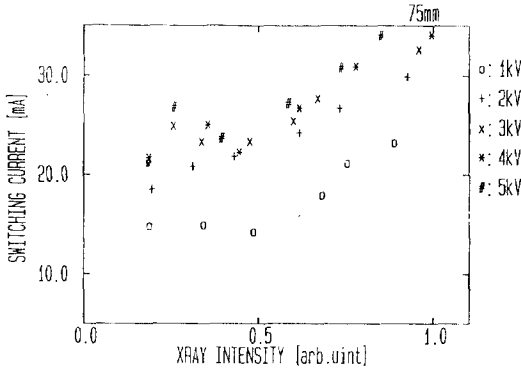


그림 8 X선강도에 대한 실리콘의 스위칭전류
Fig. 8 Switching current of silicon for X-ray intensity

때문이지만 임의의 광자에너지에서 광전흡수단면적이 갑자기 작아지는 K흡수단이 나타나, 상호작용의 급격한 감소가 일어나 벌크중의 도전율이 감소한다는 것이다.

이 현상이 사실인지를 알아보기 위해 질량에너지의 흡수계수[15]를 사용해 본 실험과 같은 조건으로 광자에너지에 대한 실리콘에서의 X선 흡수율을 조사했다. X선이 흡수된다는 것은 실리콘과 상호작용하여 캐리어를 생성한다는 것이다. 이 때 얻어진 결과를 그림 7에 나타낸다. X선원으로부터 발생한 X선이 진공용기에 설치된 1mm의 알루미늄창과 공기층을 거쳐 실리콘에 도달하여 실리콘 중에서 어느 정도 흡수되는 가를 보여주고 있다. X선에는 여러가지 광자에너지가 분포하고 있는데, 100keV의 경우는 실리콘에 거의 흡수되지 않고 투과하므로 실리콘중에 캐리어를 생성시키지 못하며, 40keV의 경우는 실리콘에 입사되기 전에 알루미늄창과 공기층에서 약 10% 흡수되고 실리콘 중에서 약 80% 흡수되어 많은 캐리어를 생성시킨다. 약 15keV 이하의 광자에너지는 실리콘에 도달하기 전에 흡수되므로 본 실험에서 얻어진 스위칭전류는 15keV이상의 광자에너지에 의해 발생된 것이다. 그러나 실리콘의 K흡수단은 1.84keV이므로 위의 설명은 틀린 것이 된다. 따라서 다른 물리적 기구에 의해 생긴 현상이므로 앞으로 검토해야 할 사항이라고 생각한다. 플라스틱 신축레이터로 측정한 X선 강도에 대한 실리콘 스위칭전류를 그림8에 나타내며, 여기서도 X선 강도가 0.5(약 16mR의 선량에 해당됨)인 근처에서 스위칭전류가 낮아지는 것이 보인다. 그리고 본 실험

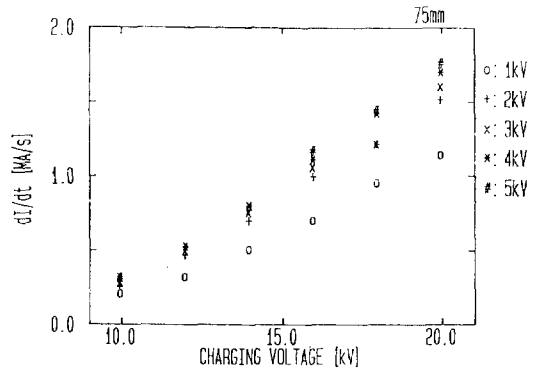


그림 9 충전전압에 대한 di/dt
Fig. 9 di/dt for charging voltage

에서 얻어진 전류밀도는 $0.3A/cm^2$ 로 똑같은 전극 구조를 채용한 전자비임 제어 반도체스위치의 실험에서 보고된 전류밀도와 같은 정도이며[16], X선제어는 전자비임제어와 비교해 손색이 없다.

그림 9에 Marx전원의 한단당 충전전압에 대한 스위칭전류의 증대율인 di/dt 를 나타낸다. 본 실험에서 얻어진 최대 X선강도에 대한 di/dt 는 $1.76MA/s$ 로 종래의 사이라트론의 di/dt 인 $5 \times 10^5 MA/s$ 와 비교하면 아직 실용적인 스위치가 될 만한 수치는 아니다. 최근에는 레이저의 발전으로 저온의 실리콘에 $1.06\mu m$ 의 빛을 조사했을 때 약 $10^7 MA/s$ 가 얻어지고 있다[8].

4. 檢 討

본 실험의 결과는 실용적인 스위치는 되지 못하지만 장파장의 빛으로 수행한 종래의 광도전스위치의 문제점을 해결할 수 있는 X선 照射型 스위치의 가능성을 나타내며, 여러가지 문제점을 밝혔다. 먼저 X선으로 변화한 도전율이 낮은 것이 문제이다. X선원으로부터 75mm떨어진 곳에 실리콘을 놓고 X선을 照射한 결과, 벌크 중에서 도전율을 높이기 위해서는 될 수 있는 한 X선원을 가깝게 하는 것이 좋다. 절연물에 X선을 照射한 실험에서[12], X선 照射에 의해 흐르는 전류 I 는 $I \propto R^D$ (여기서 R 은 線量率, $0.5 < D < 1$)의 관계에서 X선의 선량이 크게 되도록 X선관을 개량하면 도전율은 증가한다. 그러나 반도체의 전리에너지는 절연체의 전리에너지보다 작으므로 D 는 1보다 클 것으로 예상된다. 다음에 실리콘에 전력을 공급하기 위해 사용한 펄스전원은 내부임피던스가 $30k\Omega$

으로 커서 대전류를 발생시킬 수 없었으며, 인가 전압도 5kV 이하였다. 따라서 실리콘의 전면적에 걸쳐 전하를 증폭할 수가 없었다. 그리고 실리콘의 큰 저항을 얻기 위해서 전극간 거리를 길게 했는데, 이 전극간 거리가 길면, X선으로 생성된 캐리어가 전극에 도달하기 전에 포획되므로 될 수 있는 한 목적에 맞는 최적의 전극간 거리가 필요하다. 따라서 X선은 물질과 단위길이 질량에 비례하므로, 그림 1에서 X선이 입사하는 정면의 면적이 넓으며 양쪽에 전극을 증착할 수 있는 실리콘을 선택하면, 전극의 거리를 짧게해도 실리콘의 저항값은 변하지 않는다.

光照射 고체스위치에 있어서, 큰 전류용량을 얻기 위해서는光照射에 의해 발생한 캐리어의 입자수밀도를 크게 하는 것이다. 실리콘의 경우 최대 캐리어밀도 n_{pmax} 는 상온에서는 약 $10^{18}cm^{-3}$ 으로 제한된다. 최대전류밀도 J_{max} 는,

$$J_{max} = m_{pmax} e \mu E_c$$

여기서, μ 는 전자와 정공의 이동도의 합이며, E_c 는 전계이다. 이 값은 실리콘의 경우 $50kA/cm^2$ 으로, 흡수 깊이를 d_e 라고 하면, 단위길이당 전류 즉 동작전류 I_w 는,

$$I_w = J_{max} d_e = n_{pmax} e \mu E_c d_e$$

가 된다. 실리콘에 장파장의 빛을照射한 경우 d_e 는 1mm이므로 I_w 는 $5kA/cm$ 이다. 그러나 X선照射의 경우 흡수 깊이는 그림 7에 나타낸 것처럼 에너지에 의해 변화하는데 본 연구에서 사용한 X선의 경우는 장파장의 빛과 구별하면 그 깊이는 약 10배 이상이 된다. 따라서 X선을 사용하면 전류용량을 크게 취할 수 있다. 그러나 실리콘을 77K의 저온으로 하여 장파장의 빛을照射한 경우 흡수 깊이는 약 13cm로 비약적으로 깊어진다. 저온에서 15kV, 1.2kA를 스위칭한 연구에도 있는데 [8], 저온에서의 실리콘 취급은 곤란한 점도 있으므로, 실용화 시키기에는 아직 여러가지 문제점을 해결해야 된다.

5. 結 論

벌크형 실리콘반도체에 X선을照射했을 때, 이 반도체에 직렬로 접속되어 있는 저항에 전류가 흐르는 것이 관측되었다. 이 전류는 X선照射에 의해 벌크중의 도전율이 변화한 결과 생긴 것으로, X선을照射한 순간 흐르기 시작했다. 그리고 X선 펄스가 없어진 후, X선 펄스폭에 비해 긴 시정수를

가지고 감쇠하며, 그 시정수는照射 X선의 강도가 작을수록 길어진다. 또 X선원을 충전하는 전압과 실리콘에 인가하는 전압에 대해 스위칭하는 전류를 측정할 결과 X선의 강도가 클수록, 또 실리콘에 인가한 펄스전압이 경우에서는 주로 전자에 의해 스위칭전류가 이루어 지고 있는데, 반대로 인가전압이 높아지면 전자와 정공의 드리프트속도는 포화되므로, 스위칭하는 전류는 거의照射한 X선의 강도에 의존한다. 또 그 원인은 알지 못하지만 X선원의 임의의 충전전압에 있어서 감자기 스위칭전류가 작아지는 현상이 관측되었다.

X선을照射했을 때 실리콘중에서 발생하는 전자·정공의 쌍은 X선의 광자에너지에 의한 것으로, 이 X선광자가 자신의 에너지를 실리콘의 어느 부분에서 어느 정도 잃어버리는 지에 대해 알아보기 위해, 본 연구에서 사용한 실리콘과 같은 크기로 X선의 흡수율을 계산한 결과, 40keV의 X선은 실리콘에 약 8mm 흡수된 지점에서 초기입사 에너지의 1/e이 되어 장파장의 빛과 비교하면 캐리어의 발생영역이 넓으며 전류용량을 크게 취하는 특징을 가진다.

본 연구에서 얻어진 결과는 실용화 시키기에는 아직 충분하지 않지만 X선은 고체의 넓은 벌크중에서 캐리어를 발생시킬 수 있으므로, 동작이 빠른 대전류용량의 트리거광원으로서 적당하며, 진공방전에 의해 간단하게 발생시킬 수 있다. 스위치의 효율은 부하로 전송할 수 있는 에너지와 트리거광원을 구동하는 에너지의 비로 나타내는데, 낮은 에너지로 구동하는 트리거광원으로 많은 수의 캐리어를 발생시키면 그 효율은 높아진다. 이때 생각하지 않으면 안될 것은 한개의 X선 광자에 의해 물질중에 어느 정도의 캐리어가 생성되는가 하는 양자효율이다. 장파장의 빛은 광자 한개당 단지 하나의 전자·정공의 쌍을 만드는 것에 비해 X선의 경우는 이 X선광자에너지에 의해 많은 전자·정공의 쌍을 만든다. 그러나 X선원으로부터 어느 정도의 X선광자가 방사되는지에 대해서는 알지 못하므로 정량적으로 연구하지 않으면 안된다. 또 X선은 일종의 방사선이므로 물질에 손상을 줄 가능성이 있으며 손상에 의해 원래의 상태로 돌아오지 않을 우려가 있으므로 그 임계에너지를 조사하지 않으면 안된다. X선에 의해 스위칭 소자의 온도가 상승하면 열에 의해 여기된 캐리어에 의해 오프상태에서의 저항값이 낮아 누설전류가 커져 외부광원이 듣지않아 오동작이 나오게 된다.

참 고 문 헌

- [1] 본 논문에서 “빛(광)”이라고 하면, 적외선부터 감마선까지를 총칭하는 것이다.
- [2] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, 1979, pp. 372.
- [3] W.C. Nunnally and R.B. Hammond, “80-MW Photoconductor Power Switch,” Appl. Phys. Lett., Vol. 44, No. 10, pp. 980~982, 1984.
- [4] E.A. Chauchard, M.J. Rhee and Chi H. Lee, “Optically Activated Semiconductors as Repetitive Opening Switches,” Appl. Phys. Lett., Vol. 47, No. 12, pp. 1293~1295, 1985.
- [5] M. Weiner, L. Bovino, R. Youmans and T. Burke, “Modeling of the Optically Controlled Semiconductor Switch,” J. Appl. Phys., Vol. 60, No. 2, pp. 823~835, 1988.
- [6] E.A. Chauchard, C.C. Kung, Chi H. Lee, M.J. Rhee and V. Diadiuk, “A New Method to Generate Square Pulses: Optoelectronic Switching in a Current Charged Transmission Line,” IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. PS-15, No. 1, pp. 70~72, 1987.
- [7] K.H. Schoenbach, V.K. Lakdawala, R. Germer and T. Ko, “An Optically Controlled Closing and Opening Semiconductor Switch,” J. Appl. Phys., Vol. 63, No. 7, pp. 2460~2463, 1988.
- [8] R.A. Petr, W.C. Nunnally and C.V. Smith, Jr, “Switching Performance of a Cryogenic Silicon Photoconductive Power Switch,” J. Appl. Phys., Vol. 63, No. 8, pp. 2839~2847, 1988.
- [9] Rudolf K.F. Germer, Karl H. Schoenbach and Steven G.E. Pronko, “A Bulk Optically Controlled Semiconductor Switch,” J. Appl. Phys., Vol. 64, No. 2, pp. 913~917, 1988.
- [10] D. Giorgi, P.K.L. Yu, J.R. Long, V.D. Lew, T. Navapanich and O.S.F. Zucker, “Light-activated Silicon Diode Switches,” J. Appl. Phys., Vol. 64, No. 3, pp. 930~933, 1988.
- [11] W.C. Nunnally, “Photoconductive Pulse Power Switch: A Review,” Proc., 5th IEEE Pulsed Power Conf., pp. 235~241, 1985.
- [12] 電氣學會放電ハンドブック出版委員會, “放電ハンドブック,” 日本電氣學會, pp. 407, 1987.
- [13] Kwang Cheol Ko, Yoshikazu Hoshina and Shozo Ishii, “Temporal Behaviors of Flash X-ray Source Driven by a Low-Energy Capacitor Discharge,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 28, No. 11, pp. 2283~2288, 1989.
- [14] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons, 1979, pp. 364.
- [15] J.H. Hubbell, “Photon Mass Attenuation and Energy-Absorption Coefficients from 1keV to 20MeV,” Int. J. Appl. Radiat. Isot., Vol. 33, pp. 1269~1290, 1982.
- [16] K. Schoenbach, R. Germer, V. Lakdawala, K. Schmitt and S. Albin, “Concepts for Electron-Beam and Optical Control of Bulk Semiconductor Switches,” SPIE Vol. 735, Pulse Power for Lasers, pp. 85~94, 1987.



고광철(高光哲)

1959년 1월 31일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 일본 동경공업대학 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박). 현재 경원대 공대 전기공학과 전임강사.