

# Potential industrial application of Heavy Ion Accelerator

I.C. Park, Y.S. Kim, K.B. Kim  
University of Seoul, KIRAMS

# Nuclear Physics

Atomic  
Bomb

Nuclear  
Power  
Plant

PET

국립핵과학연구소(안),

중이온 가속기(안),

빔응용 → 나노기술

CT

Genetic  
resource

Petroleum  
Search

# 이온주입법

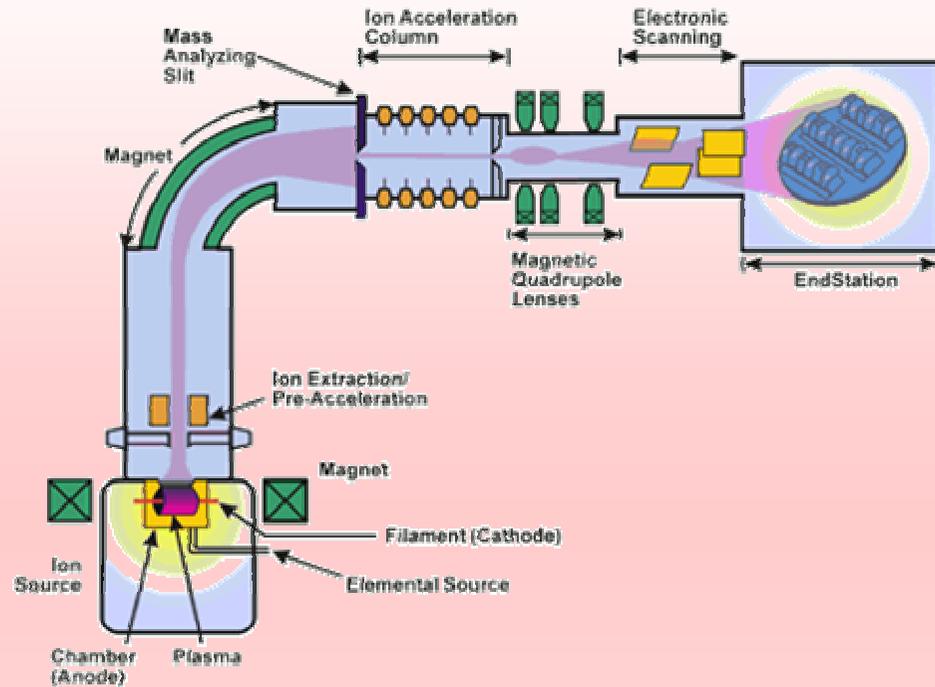
✓ 가속된 이온을 주입하여,  
재료의 전기적, 자기적,  
광학적, 미세 구조적  
특성을 변화시키는 기술

✓ 금속, 세라믹, 반도체 등  
거의 모든 재료에 적용가능

✓ 보통 수십keV –  
수MeV정도의 ion을 사용

✓ 에너지에 따른 주입의 깊이, 크기, 조밀도 조절이 가능

✓ 새로운 광학, 전기적, 자기적 특성을 갖는 신소재의 개발



# 중이온 가속기를 통한 반도체/나노재료 생성예

IBMAM (Ion Beam Modification & Analysis of Material) of ANU → Tandem: 150kV, 1.7MV, 14MV

- 실리카에 주기적인 이온을 주입하여 광도파로를 제작
- 결정질 Si내 형성된 비정질 Si층을 이온주입에 의해 재결정화하려는 연구 (열처리와 흡사)
- Si 주입에 의한 반도체 나노결정에서의 비선형 광학성질, 빛의 발생

MARC (Micro-analytical Research Center) of Melbourne: 10 keV Ion Implanter

- 양자컴퓨터, IQCD (Integrated Quantum Computer Devices), 제조를 위한 Si 매질내 단일 인(P) 원자 격자 주입하는 기술을 개발

# 이온주입법: 정리

- ✓ 재료의 **Controlled modification**이 가능
- ✓ 다양한 응용분야가 존재
- ✓ 실용화를 전제로 한 현 기술의 장벽: 입자의 크기분포 제어와 패터닝을 위한 위치제어
  - 대안으로 **FIB(Focussed Ion Beam)**, 리소그래피 마스크 방법, 비가열식(저온법) 및 저에너지 이온주입법 등이 연구되고 있다.
- ✓ **Semiconductor** 기술의 혁신, **smart** 컴퓨터, 새로운 전자소자, 광학소자 출현을 가능하게 할 것으로 기대

# 중이온빔의 나노소재로의 응용?

가능성, 그리고 현실

→ 나노공정?

→ 광결정?

Photonic crystal research at SNU, KU, HYU, UofS, ... (boom!)

3D-FDTD simulator (EM solver) at UofS (already funded)

UofS : Department of Nano Science & Technology (big support)

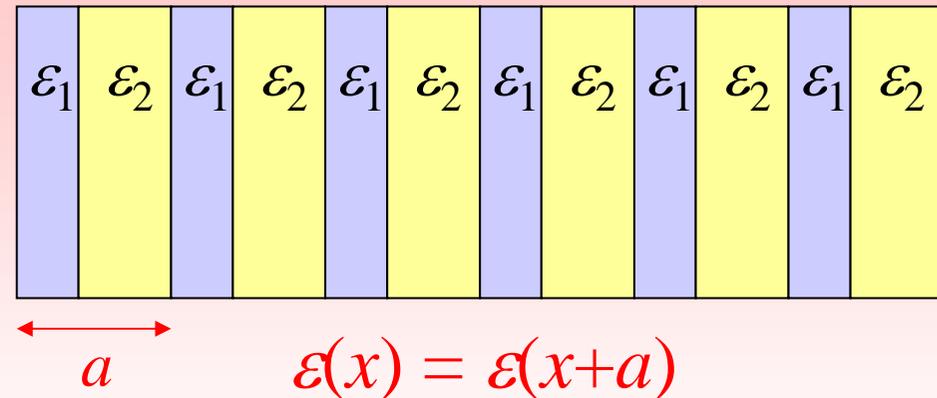
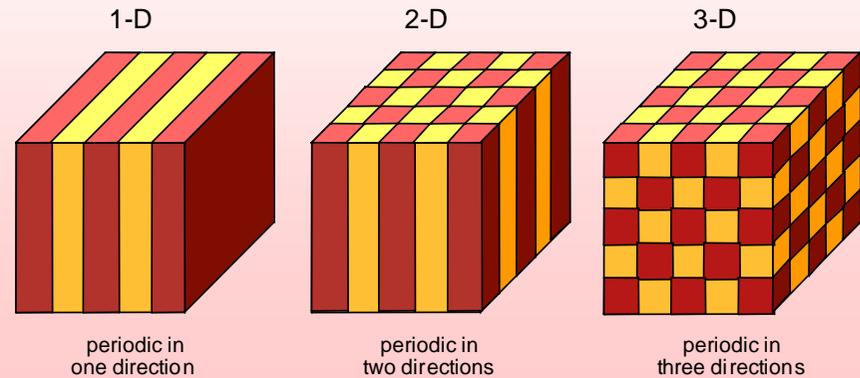
국립 핵 과학 연구소 (안)

13MeV, 50MeV Proton Cyclotron at KIRAMS (available)

# 광결정이란?

✓ 1D, 2D, 3D의 주기적인 구조를 갖는 dielectric 물질 → Phonic crystal.

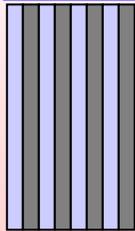
✓ 반도체내에서 원자의 주기적인 포텐셜로 만들어지는 전자의 band gap처럼 Photonic crystal 역시 빛의 Band gap을 만든다.



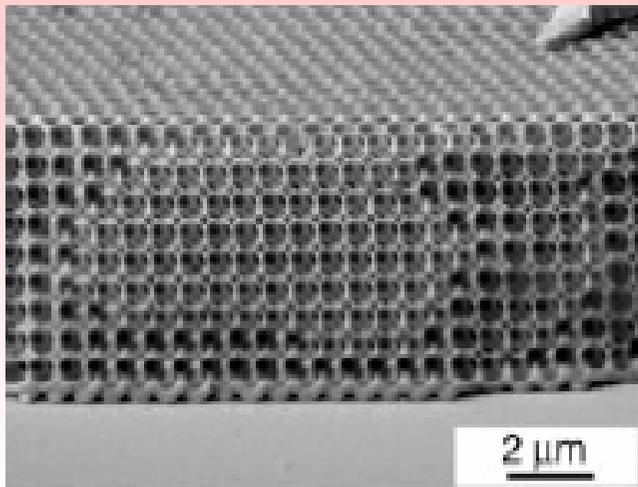
Johnson, S. G., "Photonic Crystals: Periodic Surprises in Electromagnetism"

# 3D Structures – Inverse Opal

1D PC

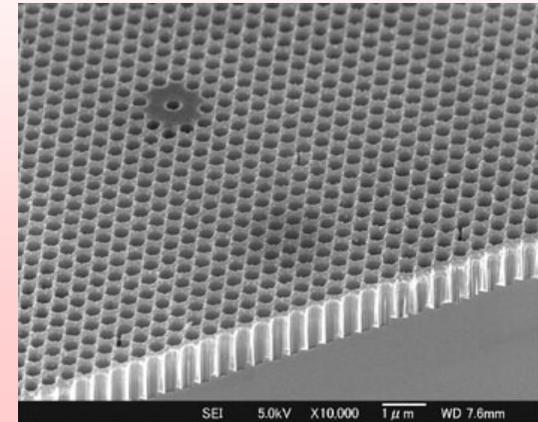


3D PC



Y. A. Vlasov, et al., Nature **414**, 289-293 (2001).

2D PC

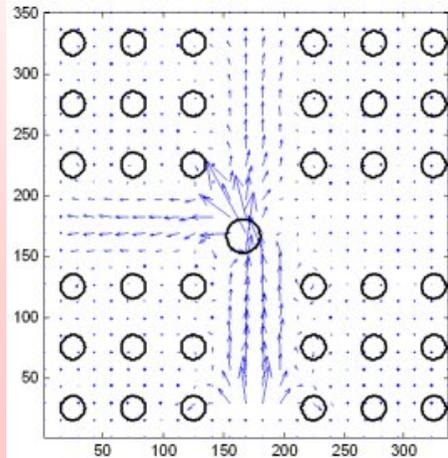


Yokohama Natl Univ.  
Baba Research Lab

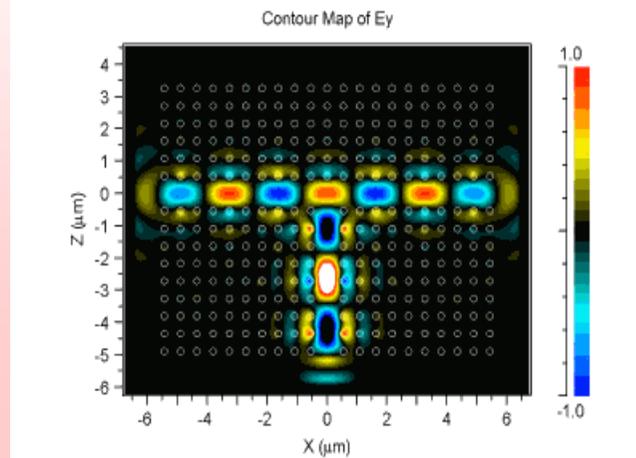
- ✓ Anti-reflection film
- ✓ Perfect waveguide bends
- ✓ Perfect channel-drop filters
- ✓ Negative refraction  
→ Perfect lens/lithography
- ✓ Resonant cavities
- ✓ Optical logic → All-optical transistors

# 2D PC example application

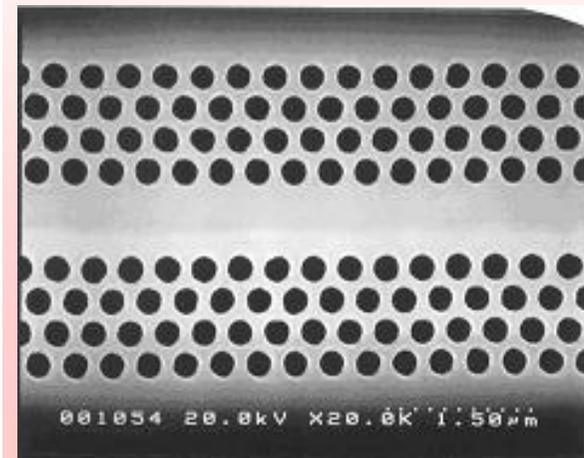
## Design



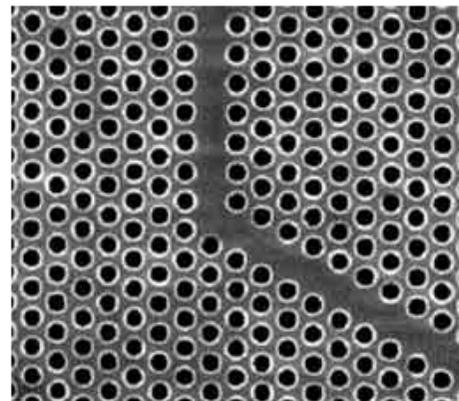
## Simulation



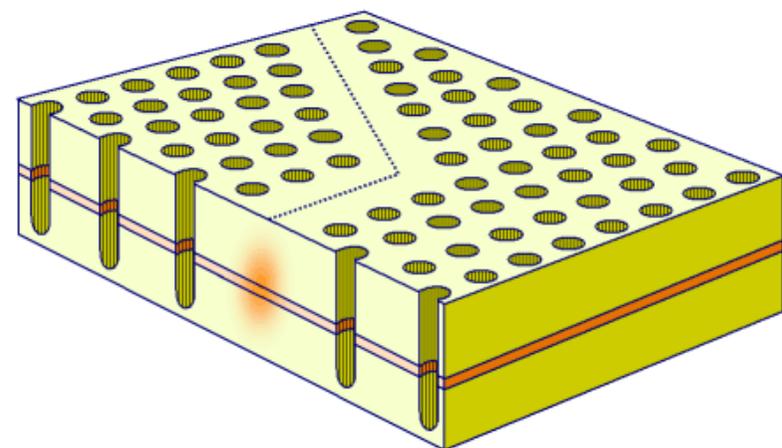
## Fabrication



## Application



(a) Real photograph

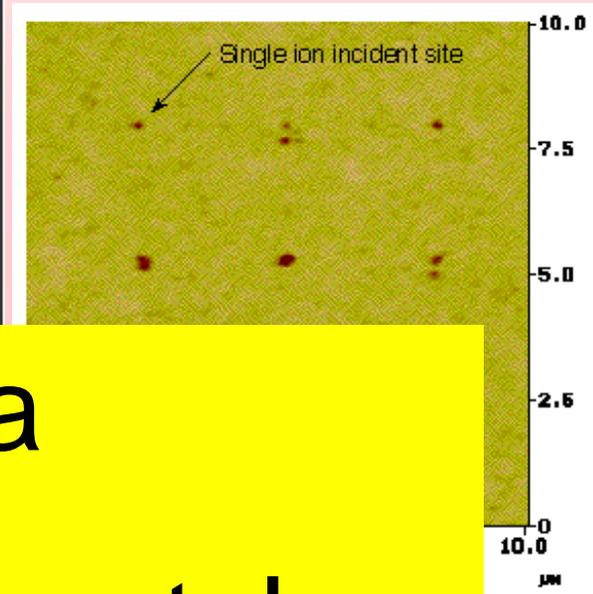
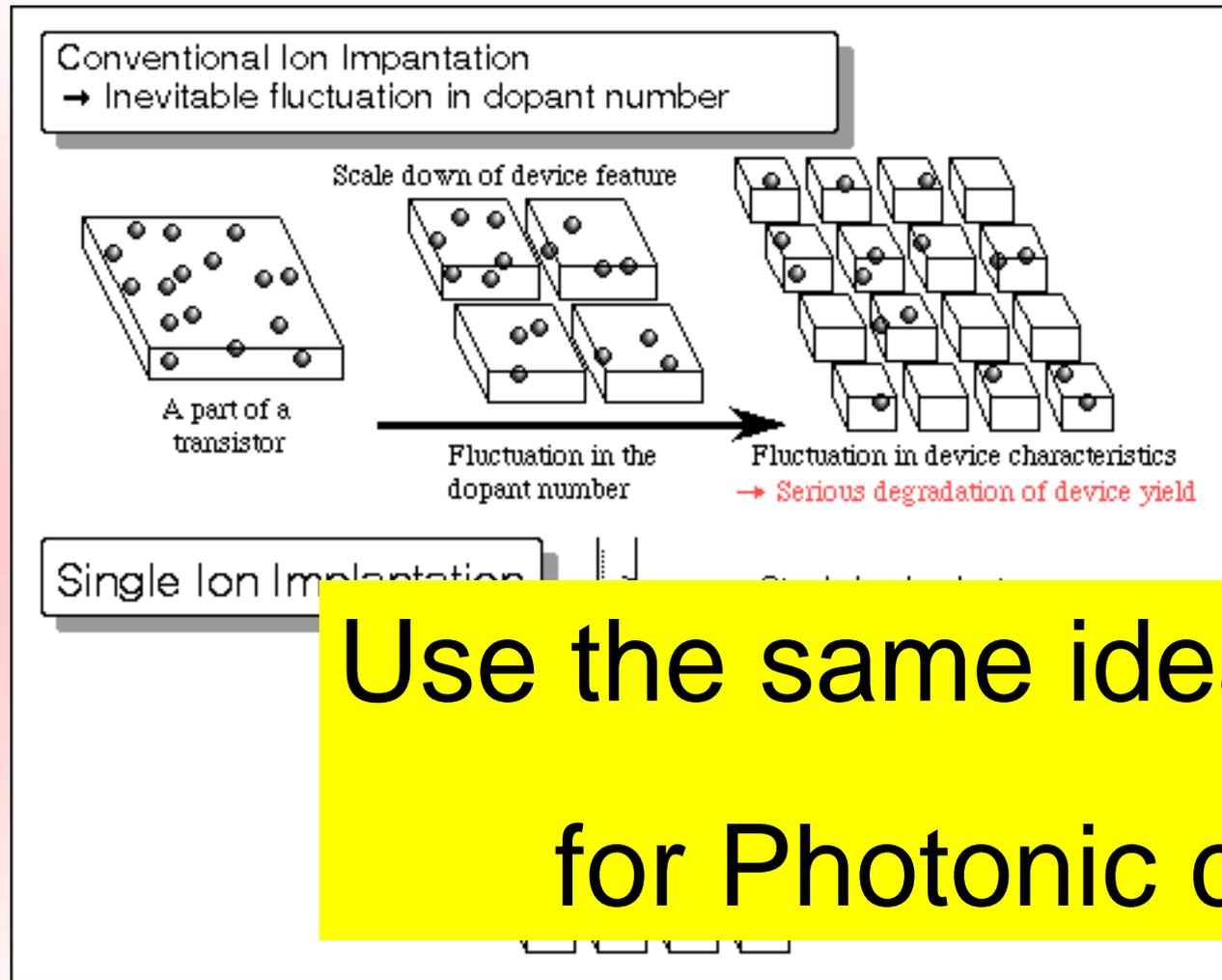


(b) Drawing image

## 광결정 제작법

- ✓ E-beam 리소그래피 (eg.  $300\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 10pA)
- ✓ 이온주입 (eg. Argon ion  $10^{14}\text{cm}^{-2}$ , 270keV)
- ✓ 에칭
- ✓ 자기조립법 (주로 3D PC)
- ✓ Focused Ion Beam
- ✓ ... more new ideas are welcome!

# Single Ion Implantation



Use the same idea  
for Photonic crystal

Ohdomari lab. Waseda University

# 나노소재를 만들기 위한 조건

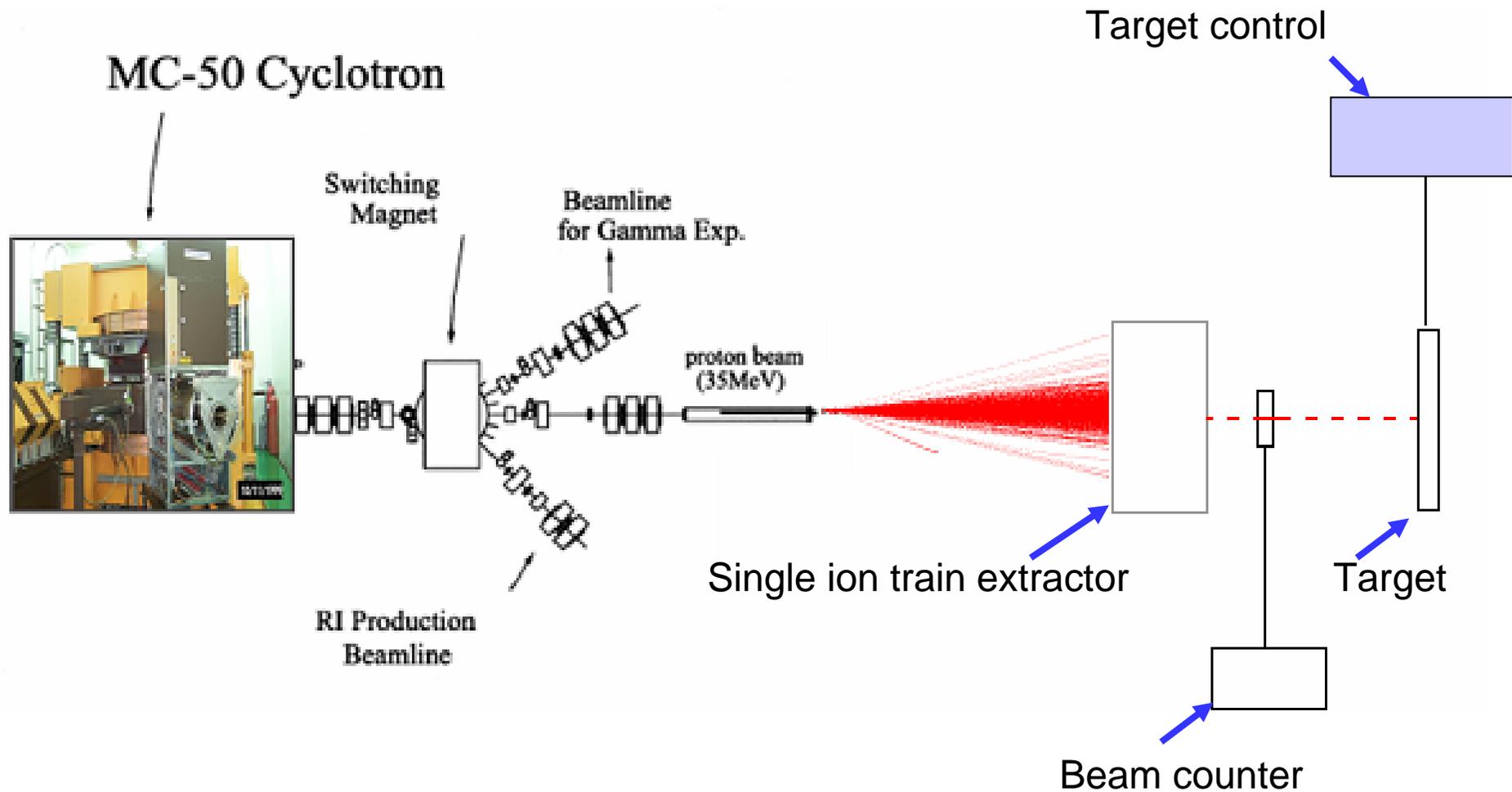
- ✓ 이온 빔의 굵기: need  $<100\text{nm}$   $\rightarrow$  Single Ion
- ✓ Precision beam dynamics 제어
- ✓ 고에너지인 경우는 이온주입이 아니고,  
Hadronic 상호작용에 의한 물성변화:  
interaction cross-section (may not enough)
- ✓ 나노소재가 될 타겟의 nano 스케일의 제어
- ✓ 기존의 광결정과 연계하여 사용
- ✓ possible many more unknown restrictions

# MC-50을 이용한 가능한 선행실험

- ✓ 현 양성자 가속기는 p, d, He를 10-50MeV정도로 가속 (20-60 $\mu$ A) : the only readily available....
- ✓ bunch 당  $10^{10}$ 개의 양성자, period 50nsec
- ✓ 수 mm의 빔의 굵기  $\rightarrow$  nano structure에는 사용될 수 없다
- ✓ 고에너지 입자빔의 선속이 크고, 다량의 2차선이 발생

- ✓  $10^{10}$ 개의 양성자중 nm굵기를 갖는 beam profile을 만듦  
 $\rightarrow$  Need a new tech: single proton train, same as the single ion extraction
- ✓ 사이클로트론에서 나오는 주기에 맞춘 나노 패턴  
 $\rightarrow$  cm/s-m/s target movement, nano-scale target control
- ✓ 이온주입이 아닌 Hadronic 상호작용에 의한 물성변화  
 $\rightarrow$  Need MC study for interaction cross-section

# Can we use MC-50 to make 2D-PC?



## 맞는말

- ✓ 중이온가속기의 산업적응용방향을 모색
- ✓ 나노스케일 구조물의 제작에 활용
- ✓ 양성자가속기를 이용한 선행실험을 고려 (KIRAMS)
- ✓ 충분한 GEANT study가 필요
- ✓ Lots of technical issues!
- ✓ may, may not work...