

# Ion channeling

Pavao Roko Andrićević

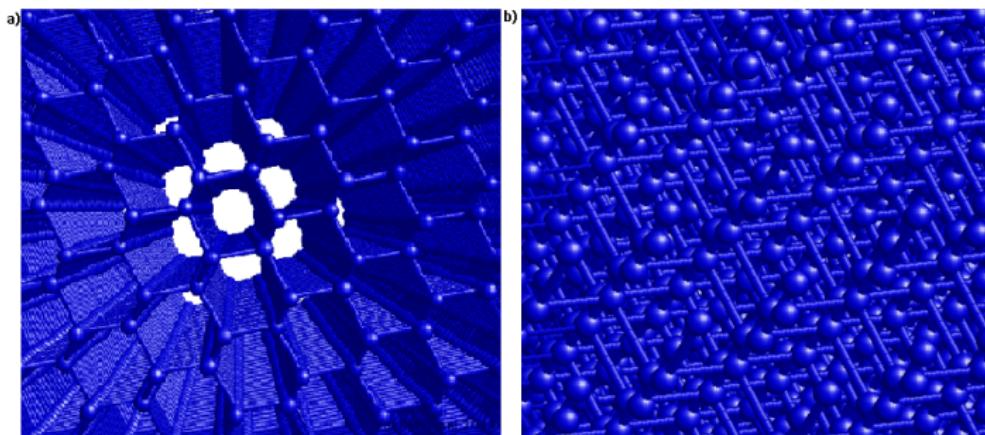
Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Fizički odsjek

3. veljače 2015.

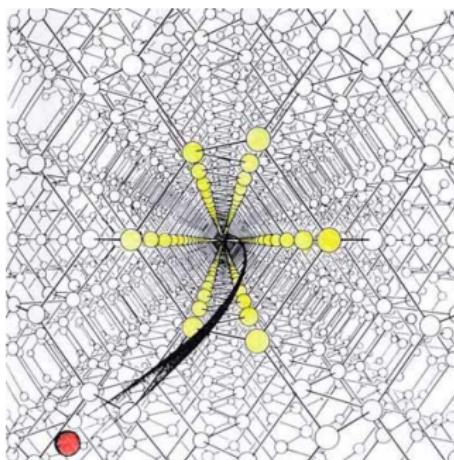
- Mnogi fizički fenomeni se mogu pojaviti kada nabijene čestice upadnu na čvrstu metu
- Homogena i izotropna meta - doprinosi fizikalnih procesa neovisni o orijentaciji impulsa upadnih čestica
- Meta monokristal - doprinosi vrlo snažno ovise o orijentaciji impulsa upadnih čestica u odnosu na kristalne osi ili ravnine

## Channeling efekt:

- Smjer upadnih nabijenih čestica na površinu monokristala nalazi u neposrednoj blizini velikog kristalnog smjera - čestice će s velikom vjerojatnošću imati raspršenja malih kuteva
- "Slučajni smjer" - mnogo je više vjerojatno da će doći do raspršenja velikih kuteva



- Metoda ion channeling je vrlo korisna za karakterizaciju kristalne strukture
- Defekti, atomi raseljeni iz atomskih redova - povećanja detektiranih čestica zbog sudara s pomaknutim atomima
- Rutherford backscattering spectrometry (RBS)



## Dijamant

- Alotropska modifikacija ugljika
- Varijaciji plošno centrirane kubične rešetke, dijamantna rešetka
- Ekstremna tvrdoća i toplinska vodljivost



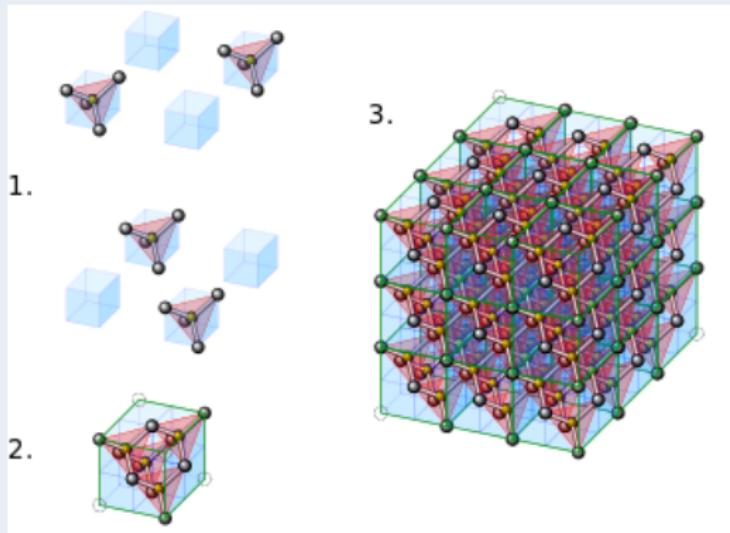
## Silicij

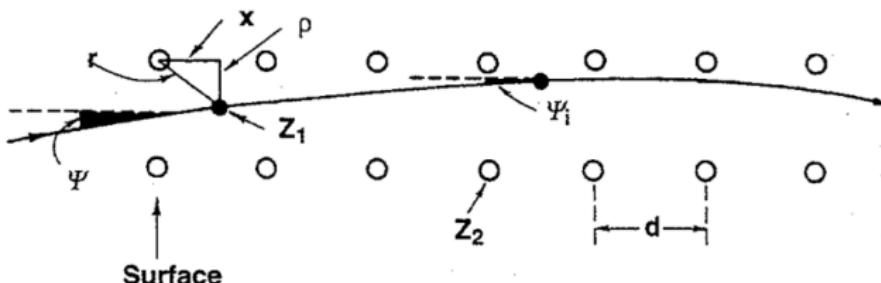
- Krutina, siva boja i metalni sjaj
- Kristalizira u dijamantnu kubičnu kristalnu strukturu, s razmakom rešetke  $0.5430710\text{ nm}$  ( $5.430710\text{ \AA}$ )
- Relativno visoke toplinske vodljivosti



## Dijamantna rešetka

- Uzorak koji se ponavlja - vezani atomi u obliku tetraedra





Za ovakav model channelinga sljedeće pretpostavke su potrebne:

- za upadni ion kutevi raspršenja mali
- uzastopni sudari u dobroj korelaciji
- sudari potpuno elastični
- pravi kristal se može aproksimirati savršenim nizovima atoma u kojima je atomski razmak  $d$  jedinstven

- Lindhard (1965.) pokazao kako se može smatrati da se ion giba u poprečnom potencijalu

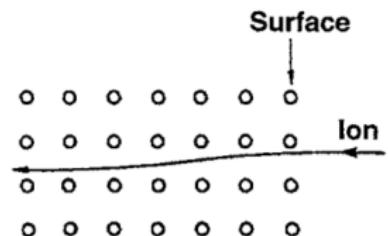
$$V_T(\rho) = \frac{1}{d} \int_{-\infty}^{\infty} V[(\rho^2 + x^2)^{1/2}] dx \quad (1)$$

- Za potencijal  $V(r)$  dvaju tijela se općenito uzima Thomas-Fermijev oblik

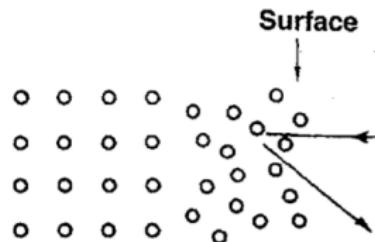
$$V(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \varphi(r/a) \quad (2)$$

- $\varphi$  Thomas-Fermijev funkcija zasijenjenja i  $a$  duljina zasijenjenja
- Ne ovisi o brzini iona, neelastična raspršenja zanemarena
- Aproksimacija potencijalom vrijedi ako je kut upada  $\Psi$  manji od karakterističnog kuta  $\Psi_1$

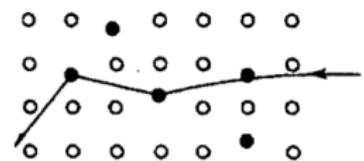
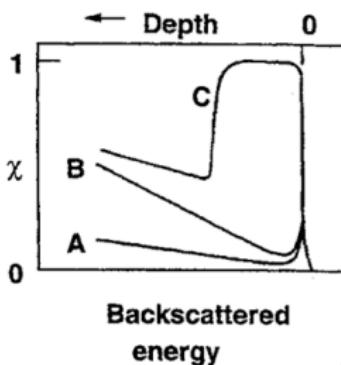
$$\Psi_1 = \left( \frac{2 Z_1 Z_2 e^2}{E d} \right)^{1/2} \quad (3)$$

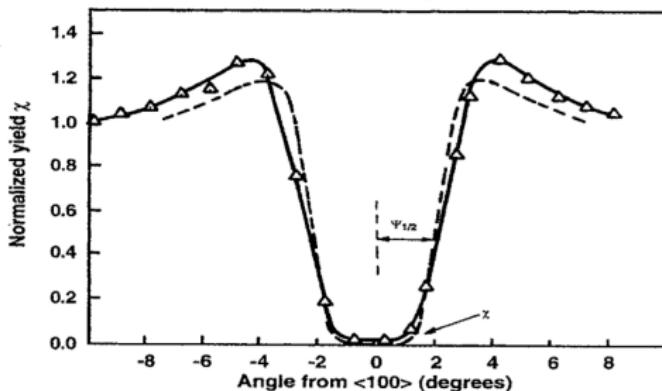


A. Nearly perfect crystal



C. Amorphous surface layer

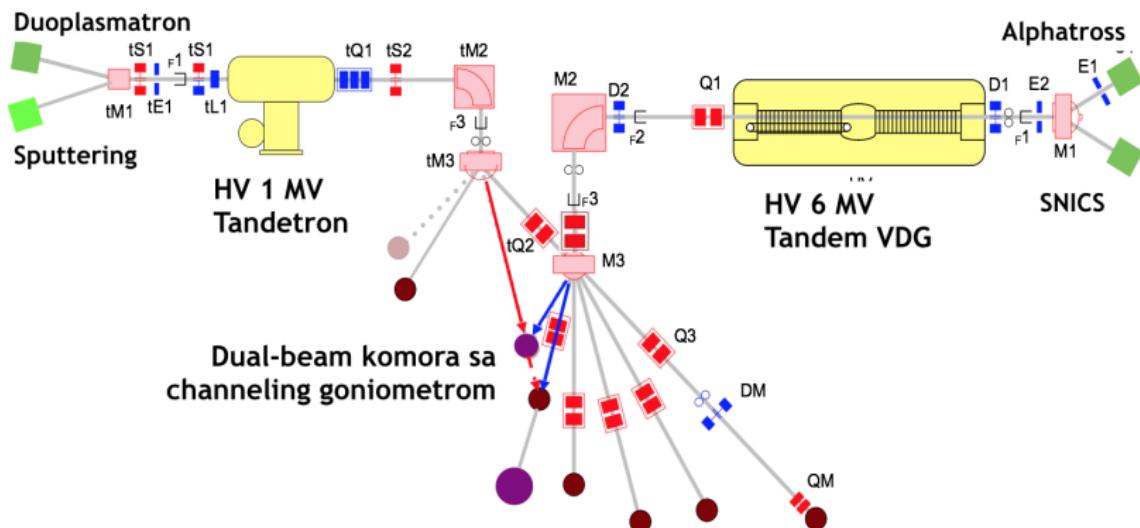
B. Dechanneling  
from point  
defects



- Half-width channeling dip angle  $\psi_{1/2}$
- Barret (1971.) pokazao je da se kritični kut  $\psi_{1/2}$  može izraziti kao

$$\psi_{1/2} = 0.83 F_{RS}(\xi) \psi_1 \quad (4)$$

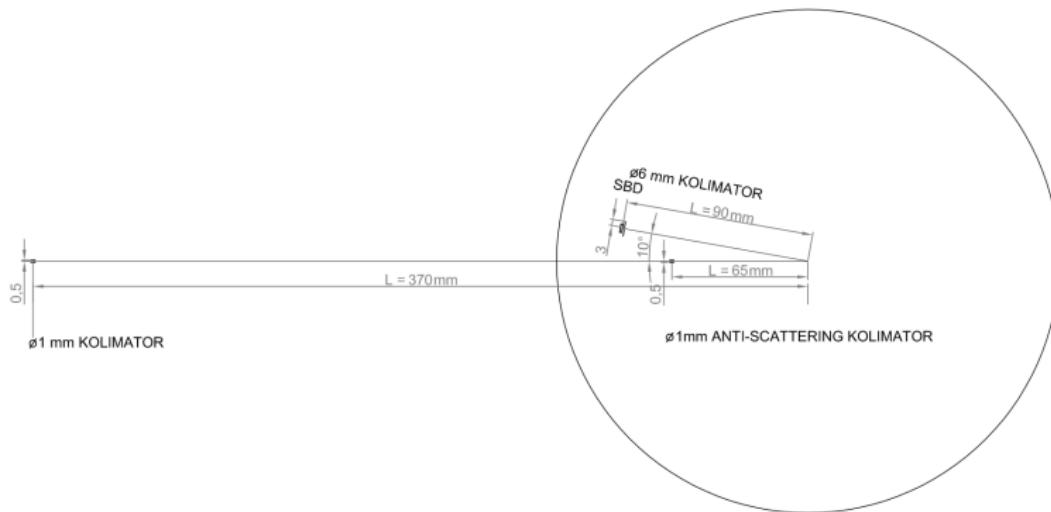
- $\xi = 1.2 u_1 / a$ ,  $u_1$  - jednodimenzionalna vibracijska amplituda
- $F_{RS}(\xi)$  - korijen Molierovg potencijala niza atoma  $f_M$



Laboratorij za interakcije ionskih snopova

## Dual-beam channeling komora

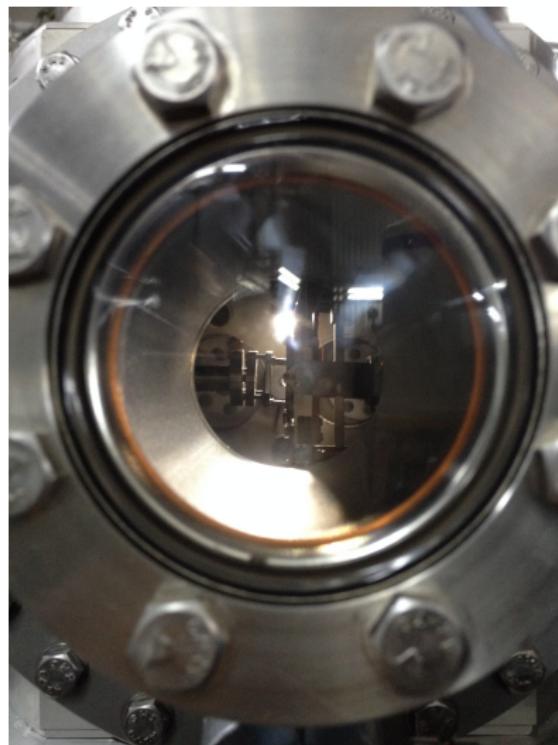




- greška u kutu po formuli

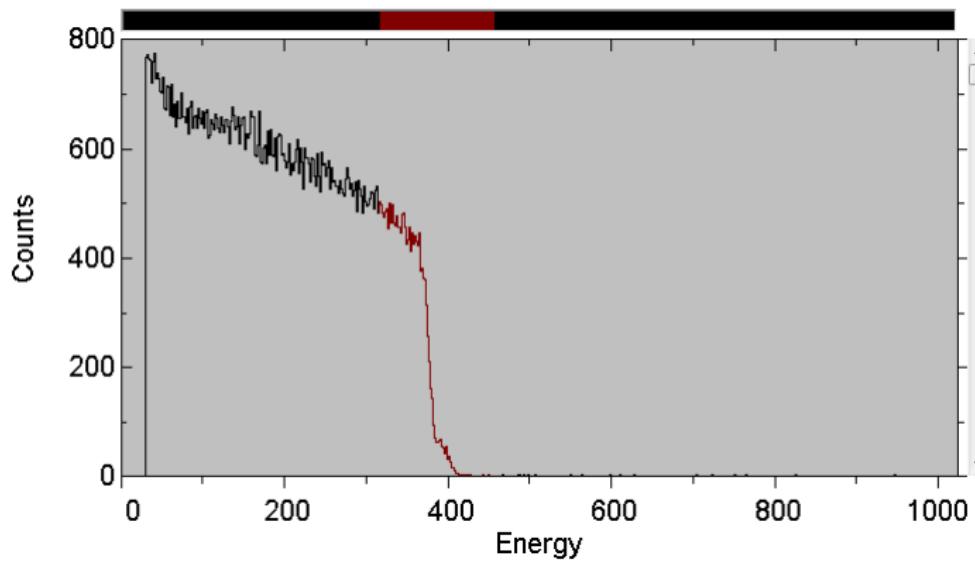
$$\delta\theta = 1.177 \frac{r}{L} \quad (5)$$

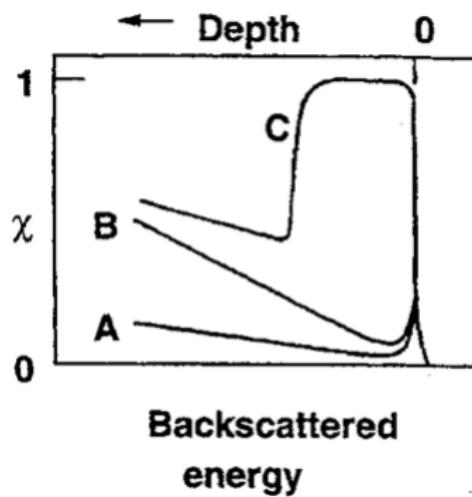
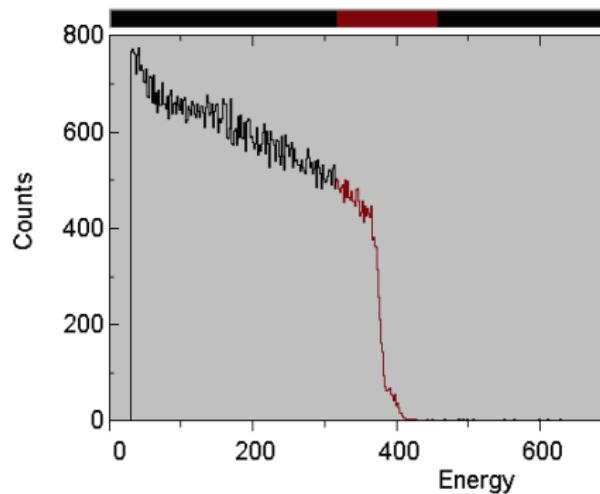
- nosač uzorka - kružnog oblika promjera 2.5 cm.



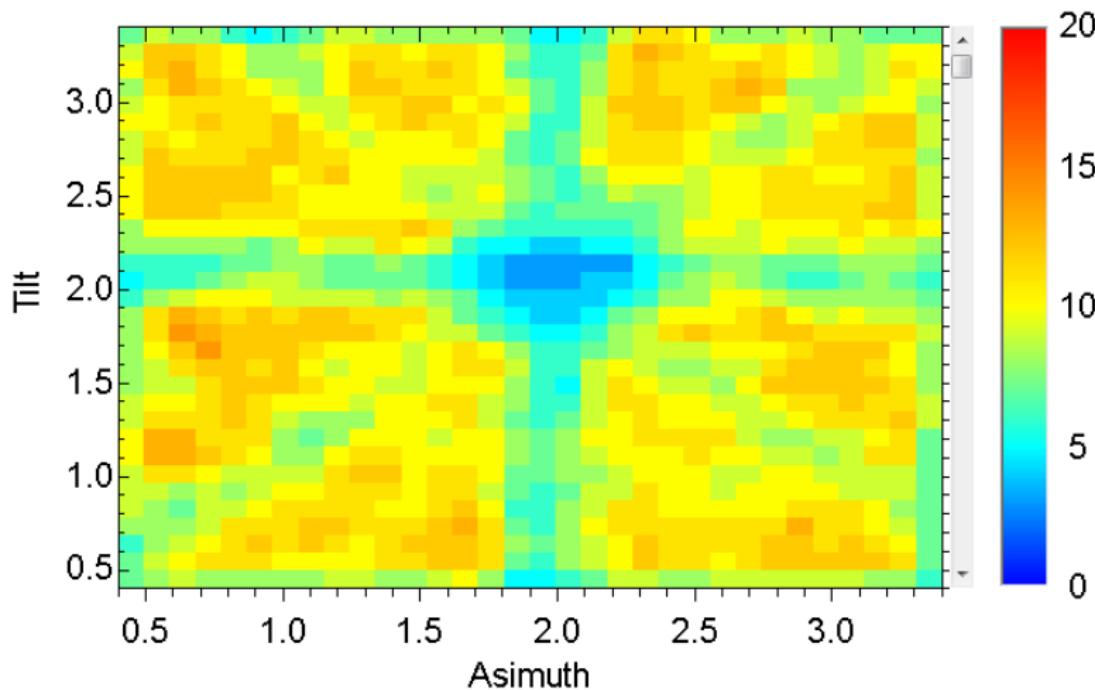
- Na poluvodički detektor dovodimo napon od +50 V pomoću izvora visokog napona Ortec 428
- Prepojačalo Ortec, prethodno dobro uzemljili da bi što bolje eliminirali šum
- Pojačalo Ortec 570, "analog to digital convertera" (ADC) Canberra 8701, Spector
- Vakuum od  $5 \times 10^{-6}$  mbar, pomoću rotacione i turbomolekularne pumpe
- Izolirali sva stakla na komori od svjetla da nebi došlo do oštećenja detektora

- Prvo mjerjenje - uzorak silicija
- Zraka protona 1 MeV
- Za pronađenak položaja zrake protona koristili kvarc
- Prikupljeni RBS spektar u 1300 s, struja  $I = 2 \text{ nA}$

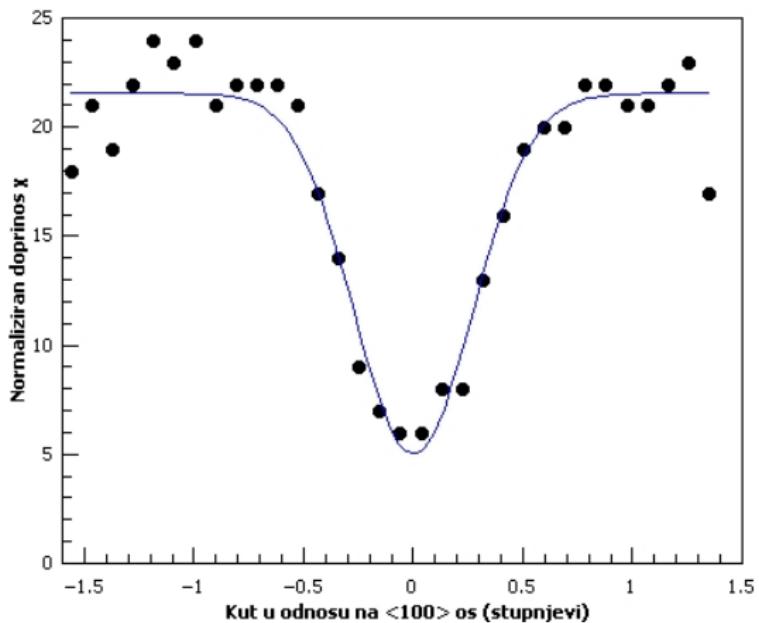




- Pomoću goniometra rotirati uzorak oko dvije osi
- $8^\circ$  u azimut smijeru i  $8^\circ$  u tilt smijeru, kreirana mapa od  $16 \times 16$  piksela
- Vrijeme mjerena za svaki piksel je 10 s
- Preciznost  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$
- $32 \times 32$  piksela uz rotaciju kuteva  $3^\circ \times 3^\circ$ , što nam daje odličnu preciznost od  $0.09^\circ$  po pikselu



## Ovisnost normaliziranog doprinosa o kutu rotacije od osi centra kanala



- Full width at half maximum (FWHM)

$$w = \Psi_{1/2} = (0.54 \pm 0.04)^\circ \quad (6)$$

- Pomoću izraza (4) izračunali karakteristični kut  $\Psi_1$

$$\Psi_1 = (0.59 \pm 0.04)^\circ \quad R = 7\% \quad (7)$$

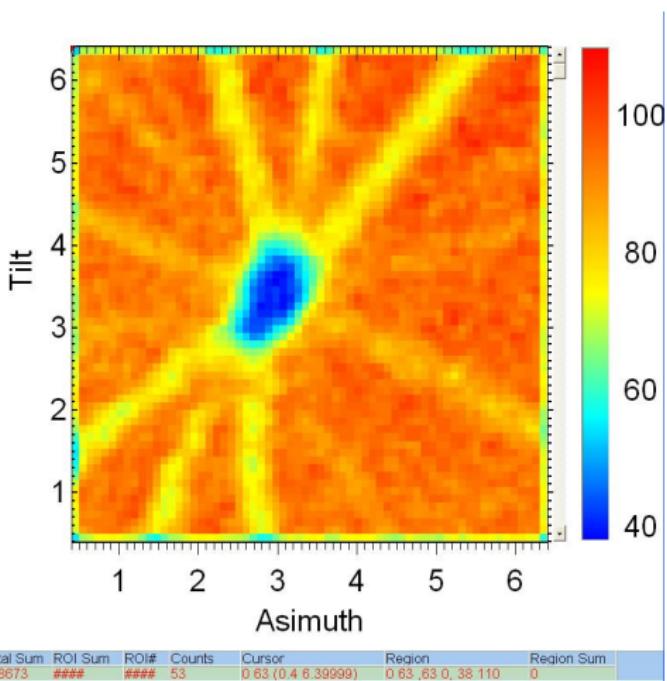
- Konačno pomoću varijacije izraza (3)

$$\Psi_1 = 0.307(Z_1 Z_2 / Ed)^{1/2} \quad (8)$$

$$d = (0.38 \pm 0.05) \text{ nm} \quad R = 13\% \quad (9)$$

- Ion channeling na uzorku dijamanta za orijentaciju (111)
- Rezultati nam nisu bili očekivani, nismo dobivali nikakve naznake mogućih kanala
- Ideja - probati zraku protona uvesti na kristalnu rešetku dijamanta pod kutem od  $45^\circ$

## Kanali na CVD dijamantu



## Zaključak

- Upoznali smo se s metodom ionskog kanaliziranja (*ion channeling*), posebno tehnikom Rutherfordovog povratnog raspršenja
- Za silicij smo pronašli položaj jednog aksijalnog kanala (100), te izračunali razmak izmedu atomskih ravnina u kristalu  $d = (0.38 \pm 0.05) \text{ nm}$
- Rezultat je u skladu s vrijednostima danim u literaturi
- Prvi eksperiment na dijamantu nije dao uspjeha u pronalasku kanala, međutim tehnikom uvođenja ionskog snopa pod kutem od  $45^\circ$  na uzorak, eksperiment je dao dobre rezultate i jasnu sliku aksijalnog kanala (111)

## Sljedeći eksperimenti

- Eksperiment se radio u dual-beam komori u kojoj istovremeno možemo imati zrake iona iz oba akceleratora na uzorku
- Iduća zamisao bi bila da zraku iz prvog akceleratora pozicioniramo u smijeru za uspješno kanaliziranje, a istovremeno izlažemo uzorak zraci iona iz drugog akceleratora. Na taj način možemo promatrati oštećenja zračenjem uzorka u vremenu
- Dijamant je upravo izabran kao uzorak zbog potencijalne primjene kao materijal za izgradnju stakala na nuklearnom fuzionom reaktoru u sklopu međunarodnog istraživačkog i inženjerskog projekta ITER