

Usporedba dviju komplementarnih metoda grafitizacije HPHT monokristalnog dijamanta ionskim snopom

Ivana Retkovic Šešelja

Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet

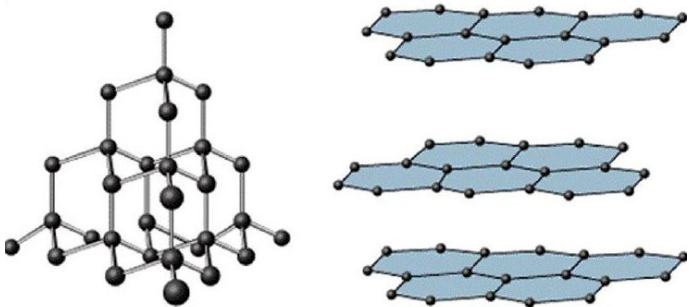
r.s.ivana@live.com

27.01.2017.

- 1 Teorijski uvod
 - Grafitizacija
 - Akceleratorski sustav
 - Annealing
 - SRIM simulacija
 - Uzorak
- 2 Eksperimentalni rezultat
- 3 Rasprava
- 4 Zaključak
- 5 Literatura

Usporedba dijamanta i grafita

- Dijamant je metastabilno stanje ugljika u kojem je svaki ugljikov atom tetraedalom sp^3 vezom vezan za svoja četiri najbliža susjeda.
- Stabilno stanje ugljika je grafit; slojevit materijal u kojem su atomi vezani sp^2 vezom u heksagonalne listove s ostavljenim π elektronom za vezanje.
- Navedene karakteristike su uzrok da je dijamant izolator a grafit vodić.



Struktura dijamanta (lijevo) i grafita (desno)

- Ugljikov ion ulaskom u materijal gubi energiju
- Uložena energija razbija veze te ostavlja delokalizirane orbitale
- Delokalizirane orbitale se rekombiniraju u grafit
- Ako je doza implementiranih iona veća od kritične dijamant je trajno pretvoren u grafit

Onečišćenja i deformacije

Moguće je stvaranje vakancija ili kod implementacije ne istovrsnih iona može se neki atom ugljika u rešetci zamijeniti s implementirajućim; tako se stvaraju color centri.

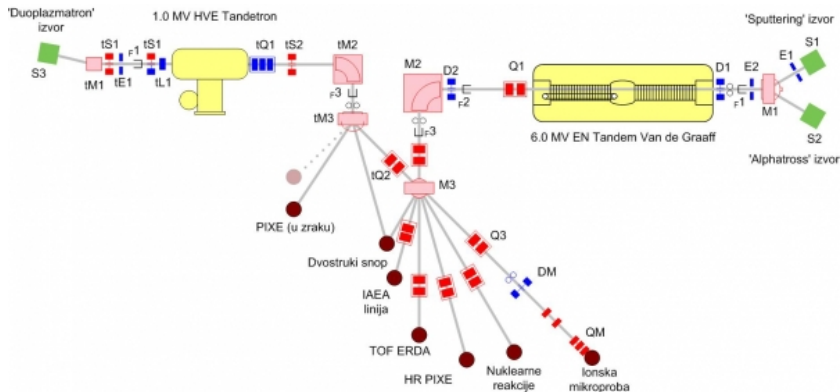


Dijamant onečišćen borom i dušikom.

Akceleratori sustav

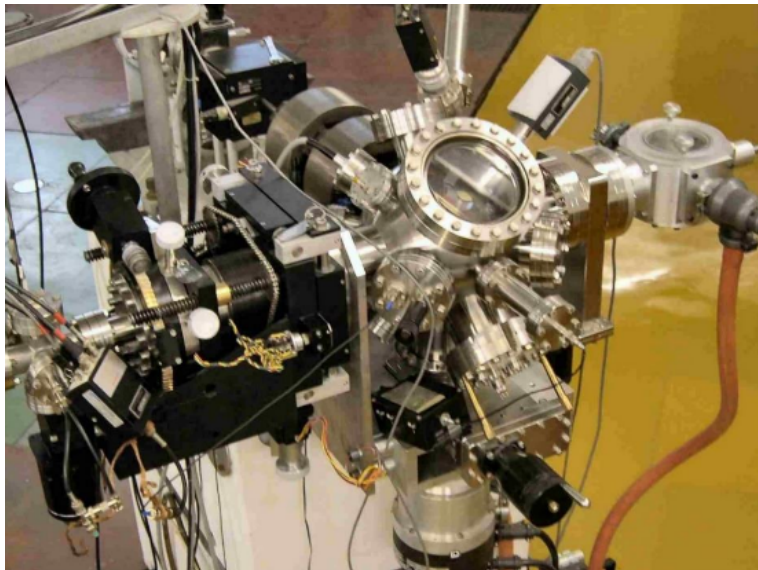
Korištena su dva akceleratorna sistema:

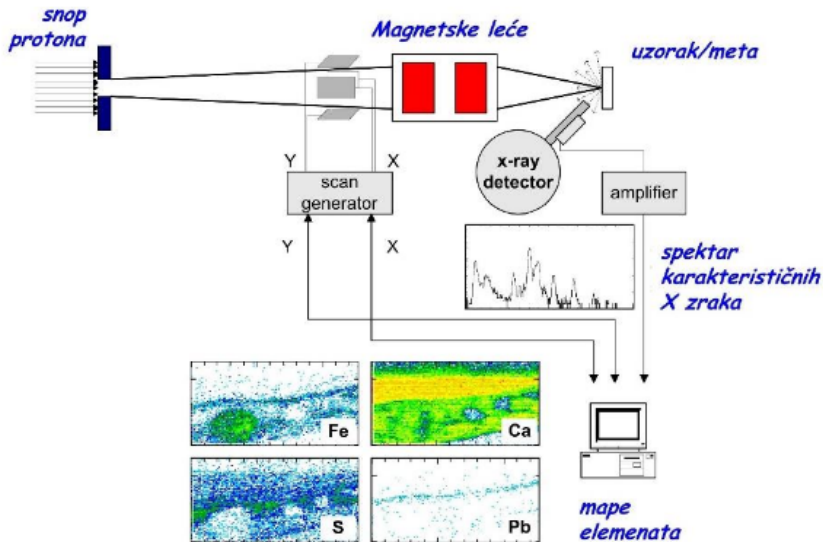
- MV HVE Tandetron akcelerator; ionski snop ugljika energije 15 MeV-a
- Tandem Van de Graaff; ionski snop ugljika energije 8 MeV-a



Shematski prikaz akceleratornog sustava

lonska mikroproba

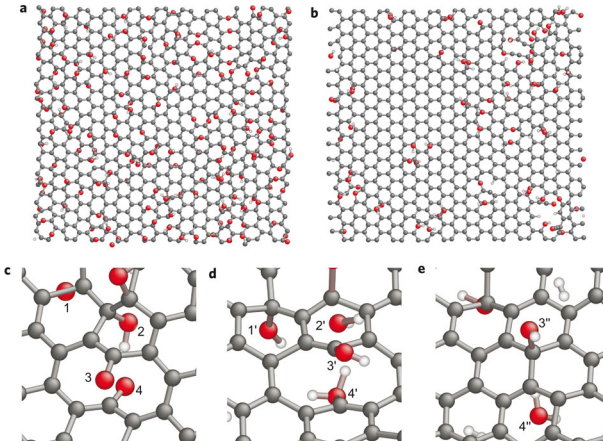




Shematski prikaz eksperimentalnog postava ionske mikroprobe

Annealing

Annealing je proces rekombinacije oštećenja dijamanta nazad u dijamantnu rešetku. Radi se u vakuumu na 1000°C u trajanju od 2h.

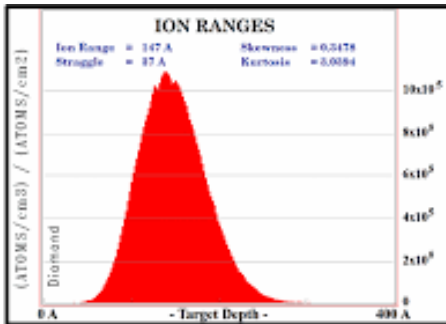
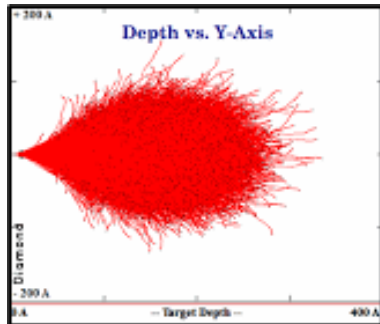


SRIM simulacija

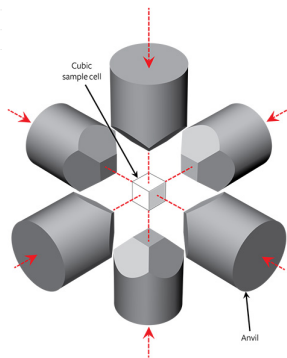
SRIM nam daje iz unesene energije iona, vrste iona i mete broj vakancija koje se stvaraju po angstromu po ionu iz čega možemo dobiti implementiranu dozu. Također nam daje dubinu implementacije koja je kod nas bila $0.17\mu m$.

Dozu određujemo sljedećom formulom:

$$\phi = \frac{\Delta R_p}{C_p \sqrt{2\pi\epsilon}}$$



- Kao uzorak je korišten monokristalni dijamant napravljen metodom visoke temperature i visokog tlaka (HPHT). Nakon izrastanja dijamant je rezan [100] ravninom.
- Dimenzije uzorka su $3 \times 3 \times 0.5 \text{ mm}^3$.



Shematski prikaz postava za izrastanje HPHT dijamanta

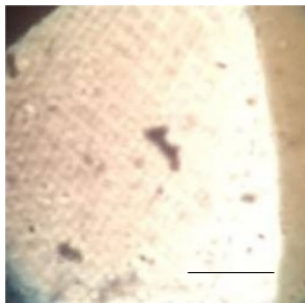
Grafitizaciju smo radili na dva načina:

- Tandetronom s ionima visoke energije, velike struje i defokusiranim snopom. Ozračavali smo uzorak kroz mrežicu te držač napravljen od debelog aluminija nam je poslužio kao debeli rub. Doza ozračavanja je $4201\mu\text{C}$
- Tandem akceleratorom smo s malom strujom i manjom energijom iona te jako fokusiranim snopom skenerom radili tanke linije grafita u dijamantu.

Grafitizacijski uzorci prije annealinga snimljeni elektronskim mikroskopom.



(a) Oštar rub aluminijevog nosača.

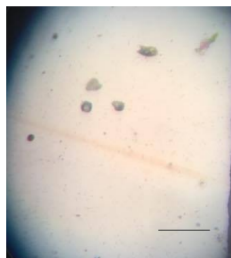


(b) Uzorak napravljen bakrenom mrežicom dimenzije $25\mu m \times 25\mu m$.



(c) Četiri linije napravljene skeniranjem snopa u mikroprobi. Linije su dimenzija $10\mu m \times 25\mu m$ u dozama redom: $1.76mC$, $3.6mC$, $7.2mC$, $14.2mC$.

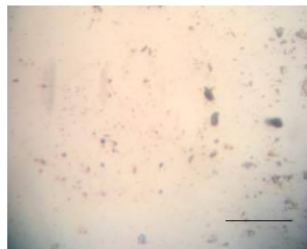
Grafitizacijski uzorci poslije annealinga snimljeni elektronskim mikroskopom.



(a) Oštar rub aluminijevog nosača.



(b) Uzorak napravljen bakrenom mrežicom dimenzije $25\mu m \times 25\mu m$.



(c) Tri preostale linije napravljene skeniranjem snopa u mikroprobi. Linije su dimenzija $10\mu m \times 25\mu m$ u dozama $3.6mC$, $7.2mC$, $14.2mC$.








Kod debelog aluminijskog ruba dobili smo iznimno ravnu liniju koja se samo poboljšala annealingom što je i očekivano no prije annealinga možemo ustvrditi da su efekti ruba u ovoj situaciji potpuno zanemarivi.




Zanimljiva pojava tamnijeg ruba mrežice od sredine. Jedino objašnjenje koje je trenutno znamo je da se radi o optičkoj varci zbog mikroskopa.

Linije napravljene u mikroprobi su očekivano precizne. Jedna linija je pre tanka da bi je vidjeli ovim povećanjem ili je njena doza bila ispod kritične doze implementacije pa se potpuno rekombinirala annealingom.

- Reverzibilnost procesa grafitizacije omogućuje stvaranje finijih struktura te zaobilazi tehnička ograničenja manipulacije ionskog snopa.
- Vidimo da sve testirane metode daju dobre rezultate te možemo reći da su komplementarne a ne kompetitivne; izborom akceleratorškog sustava i zahtjeva koje imamo možemo odlučiti koja od dviju metoda je bolja za ostvarivanje željenog cilja.
- Kombinacijom metoda možemo stvarati razne vodljive konstrukcije koje bi konačno dovele do elektroničkih sklopova nanometarske veličine.

-  S. Praver R. Kalish, *Phy. rev.* 51 , 15712 (1995)
-  V. S. Vavilov, V. V. Krasnopevtsev, Y. V. Milijutin, A. E. Gorodetsky, and A. P. Zakharov, *Radiat. Eff.* 22, 141 (1974)
-  Forneris, Jacopo; Grilj, Veljko; Jakšić, Milko; Lo Giudice, Alessandro; Olivero, Paolo; Picollo, Federico; Skukan, Natko; Verona, C.; Verona-Rinati, G.; Vittone, Ettore. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.* 306 (2013)
-  Federico Picollo, Alfio Battiato, Emilio Carbone, Luca Croin, Emanuele Enrico, Jacopo Forneris, Sara Gosso, Paolo Olivero, Alberto Pasquarelli, Valentina Carabelli, *Sensors*, 515-528(2015)
-  J R Maze, A Gali, E Togan, Y Chu, A Trifonov, E Kaxiras, M D Lukin, *New J. Phys.* 13 arXiv:1010.1338 (2011)

-  Lucille A. Giannuzzi, Brenda I. Prenitzer, Brian W. Kempshall, Introduction to Focused Ion Beams (2015)
-  F. Picollo, S. Gosso, E. Vittone, A. Pasquarelli, E. Carbone, P. Olivero, V. Carabelli, Advanced materials, 10.1002/adma.201300710
-  R. Paltemaa, J Raisanen, M. Hautala, A. Anttila, Nucl. Instrum. methods 218(1983) 758
-  N. Skukan, Proizvodnja radioaktivnog nuklearnog snopa ^7Be , diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, (2010)
-  Hrvatska inciklopedija, Elektronski mikroskop, Leksikografski zavod Miroslav Krleža
-  M. Bogovac, Data aquisition for X-ray microprobe, Computer Manual Series No. 17, IAEA, Beč(2002)
-  M. Riedel, J. Ristein, L. Ley, Phys. Rev. B 69, 125338 (2004)

-  Alan T Collinsa, Hisao Kandab, Hiroshi Kitawakid, Diamond and related materials, 113–122 (2000)
-  Introduction to Ion Ranges, Doses and Damage, SRIM handbook
-  I. Sudić, D. Cosic, S Ditalia Tchernij, P. Olivero, M. Pomorski, N. Skukan, M. Jakšić, Channeling STIM analysis of radiation damage in single cristal diamond

Hvala na pažnji!