

სილიციუმის კარბიდი

სილიციუმის კარბიდი SiC, აგრეთვე ცნობილი როგორც კარბორუნდი ან მოისანიტე (ფრანგი მეცნიერის დრ. ჰენრი მოისანის პატივსაცემად, რომელმაც პირველმა აღმოაჩინა ის 1905 წელს), არის მყარი ნაერთი, რომელიც შეიცავს 50%-ს ნახშირბადს და 50%-ს სილიციუმს. ბუნებრივად SiC მცირე რაოდენობით გვხვდება განსაკუთრებულ გეოლოგიურ ადგილებში, როგორცაა ალმასის შემცველი მადნები, ვულკანური კრატერები; ასევე იგი გვხვდება ზოგიერთი ტიპის მეტეორიტებში. ფაქტიურად მსოფლიოში გაყიდული სილიციუმის კარბონატი არის ხელოვნური.

ეს მასალა ერთდროულად არის როგორც კერამიკა, ასევე ნახევარგამტარი განსაკუთრებული თვისებებით. ის არის ძალიან მტკიცე (თითქმის ისევე მტკიცეა როგორც ალმასი), ქიმიურად ინერტული; მედეგია მაღალი ტემპერატურების (>1000°C), დაუანგვის და ექსტრემალური გარემო პირობების მიმართ. მას გააჩნია მაღალი სითბოგამტარობა, იმდენად მაღალი, რომ შეუძლია სითბოს გამონთავისუფლება ლითონის მსგავსად. მრავალი ათეული წლების განმავლობაში წარმოებაში ის გამოიყენებოდა როგორც მაპოლირებელი (კარბორუნდუმ კომპანიის ძირითადი პროდუქტი), მაგრამ დღესდღეობით მისი გამოყენება გაფართოვდა და იგი გამოიყენება კოსმოსში (მაღალი ტემპერატურის ძრავები, დამამუხრუჭებელი დისკები), კომპოზიტებში, სპეციფიკურ ფილტრებში და გამახურებელ ელემენტებში.

უკანასკნელ ხანებში SiC-ის კრისტალებს იყენებენ საიუველირო საქმეშიც, მოისანიტეს სახელით, რადგან მისი ოპტიკური თვისებები ძალიან ახლოს არის ალმასის თვისებებთან. მაგრამ SiC-ის კრისტალების გამოყენების ძირითადი სფერო არის ელექტრონიკა. მართლაც, SiC-გან დამზადებული ელექტრონული ხელსაწყოები მუშაობენ მაღალ ტემპერატურებზე, მაღალ სიმძლავრეებზე, მაღალ სიხშირეებზე და ექსტრემალურ გარემო პირობებში, განსხვავებით სხვა ნახევარგამტარულ მასალებზე დამზადებული ხელსაწყოებისგან (სილიციუმი, გერმანიუმი, გალიუმის არსენიდი). მაგრამ, იმისათვის რომ მივიღოთ SiC-ის კრისტალები მისთვის დამახასიათებელი ელექტრონული თვისებებით, მნიშვნელოვანია მაღალი კრისტალური ხარისხის ნიმუშების გაზრდა.



იუველირებული ქვა
მოისანის კრისტალისგან



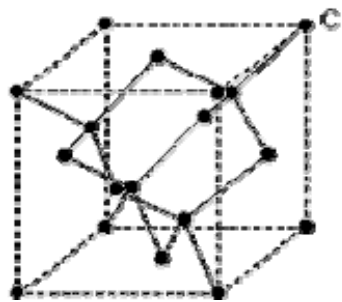
დრ. მოისანი
(28 სექტ. 1852
20 თებ. 1907)



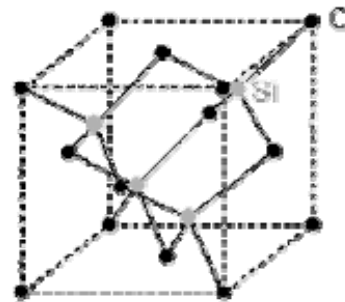
კარბორუნდის კომპანიის-1894
ეტიკეტი ახალი ალმასის
მსგავსი პროდუქტისათვის

SiC კრისტალის ზრდა

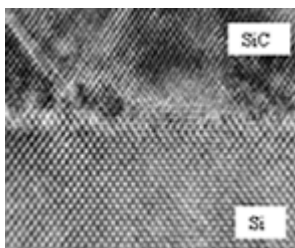
კრისტალი არის მყარი ნივთიერება, რომელიც შედგება რეგულარულად და პერიოდულად ჩალაგებული ატომებისაგან. თითქმის ყველა მყარ სხეულს (ლითონებს, შენადნობებს, კერამიკებს, მარილებს, პლასტმასებს) შესაძლებელია ჰქონდეს კრისტალური სტრუქტურა თუ შესაძლებელია ატომების ორგანიზაციისთვის აუცილებელი პირობების მიღწევა. ზოგიერთ შემთხვევაში, გარკვეული ენერგია (სითბო ან წნევა) უნდა გადაეცეს ატომებს, იმისათვის რომ ხელი შევუწყოთ მათ რეგულარულ განლაგებას სამგანზომილებიან მესერში. ჩვეულებრივ, ბუნებაში აღმოჩენილი კრისტალები შექმნილია სპონტანურად, მაგრამ ასეთი ზრდის პროცესი ქმნის დიდი რაოდენობის დეფექტებს (სტრუქტურული დეფექტები, სხვა ნივთიერების ჩანართები). რადგანაც ელექტრულ ინდუსტრიას სჭირდება მაღალი ხარისხის მქონე SiC-ის კრისტალები. იმისათვის რომ გავზარდოთ მიღებული ნიმუშების ექსპლოატაციის მახასიათებლები, შემდგომი ზრდისა და გაწმენდისთვის საწყის ნიმუშებად ძირითადად გამოიყენება სპონტანურად გაზრდილი საუკეთესო კრისტალები. გამომდინარე აქედან გამოიყენება ზრდის ტექნიკა, რომელსაც ეწოდება ეპიტაქსია (ბერძნული სიტყვიდან “epi=ზემოთ” და “taxis=მოწესრიგებულად”), რომლის დროსაც გამოიყენება გარკვეული რეაგენტები საწყისი ნიმუშები.



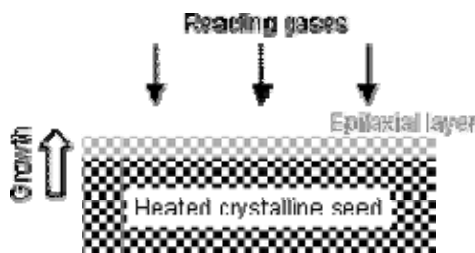
აღმასის კრისტალის ელემენტარული უჯრედი



სილიციუმის კარბიდის კრისტალის ელემენტარული უჯრედი



ატომების ჩალაგება Si-ის კრისტალსა და SiC ეპიტაქსიურ ფენებს შორის

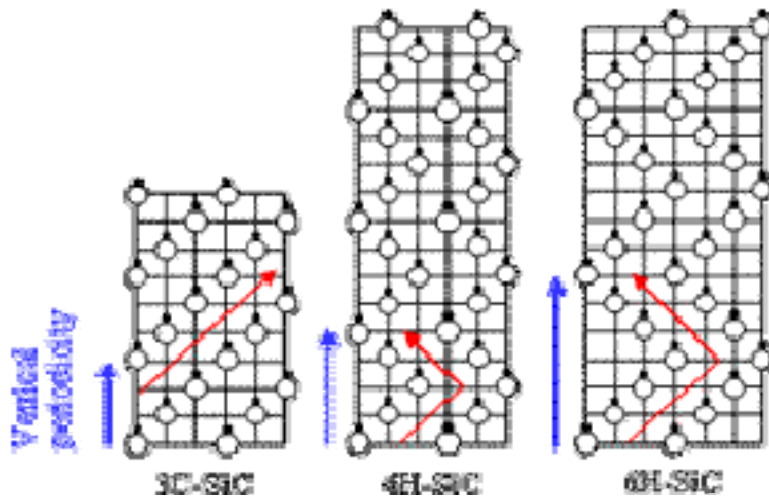


გაზური ფაზიდან ეპიტაქსიური ზრდის ძირითადი სქემა

აღსანიშნავია, რომ ატომების ჩალაგების პერიოდულობა (სამგანზომილებიანი ატომური მესერისთვის) კრისტალებში, სშირად დამოკიდებულია კრისტალიზაციის პირობებზე. ყველაზე ცნობილ მაგალითს წარმოადგენს ნახშირბადი, რომელსაც შეუძლია წარმოქმნას როგორც გრაფიტი (ნახშირი) ზომიერი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში, ასევე აღმასი მაღალი ტემპერატურის და წნევის პირობებში. სხვადასხვა ფორმით კრისტალიზაციის უნარს ეწოდება პოლიმორფიზმი.

SiC წარმოადგენს პოლიმორფიზმის სპეციალურ შემთხვევას, რომელსაც ეწოდება პოლიტიპიზმი, სადაც ჩალაგების თანმიმდევრობის შეცვლა ხდება მხოლოდ სამგანზომილებიანი მესრის ერთი გამორჩეული მიმართულებით. ამ სპეციფიკური თვისებებიდან გამომდინარე, რომელიც საშუალებას იძლევა ამ მესრის თითქმის უსასრულო ცვლილების საშუალებას, SiC-ის 10 პოლიტიპი არის აღმოჩენილი.

თუმცა, მხოლოდ 3 მათგანის მიღება ხდება ჩვეულებრივ, დიდი სტაბილურობის გამო. მათ ეწოდებათ 6H-SiC, 4H-SiC და 3C-SiC (H და C მიუთითებს კრისტალის სიმეტრიას, H ჰექსაგონალური და C კუბური). გარდა ელექტრონული თვისებებისა ამ პოლიტიპების ბევრი ფიზიკური თვისება იდენტურია. ელექტრონული ხელსაწყოებისთვის, თითოეულ პოლიტიპს აქვს თავისი სპეციფიკური უპირატესობა. მაგ, 4H უმჯობესია მაღალი სიმძლავრისა (მაგ, მაღალი ძაბვის ელექტრული განაწილება) და მაღალი ტემპერატურისათვის (მაგ. მანქანა ან თვითმფრინავის ძრავა), მაშინ როცა 3C უკეთესია მაღალი სიხშირისათვის (მაგ. რადარი).



ატომების ჩალაგება SiC-ის ძირითად პოლიტიპებში

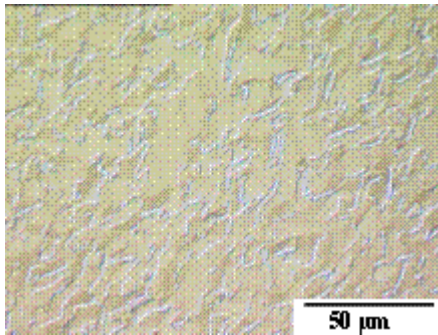
3C-SiC-ის მაღალი თერმული სტაბილურობის გამო, კრისტალის ზრდის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა მასალას გადაეცეთ დიდი ენერგია. გამომდინარე აქედან, ზრდის მეთოდები, რომლებიც ჩვეულებრივ გამოიყენება მოითხოვს 2200°C-ზე მაღალ ტემპერატურებს. ასეთი მაღალი ტემპერატურის დროს რთულია ზრდის პროცესის კონტროლი. ამასთან ერთად, კრისტალიზაციის ასეთ პირობებში შესაძლებელია მხოლოდ ჰექსაგონალური პოლიტიპის (6H და 4H) მიღება, 3C არის სტაბილური დაბალ ტემპერატურაზე (<2000°C), სადაც ენერგია რომელიც გადაეცემა ატომს არ არის საკმარისი კარგი ხარისხის მქონე კრისტალების ზრდისათვის.

ამიტომაც, დღემდე გაყიდვაში არ არის კარგი ხარისხის მქონე 3C-SiC კრისტალები, რომლებიც შესაძლებელია გამოიყენებულ იქნას ელექტრონიკაში, მაშინ როცა 4H და 6H კრისტალების შექმნა შესაძლებელია სხვადასხვა კომპანიებიდან.

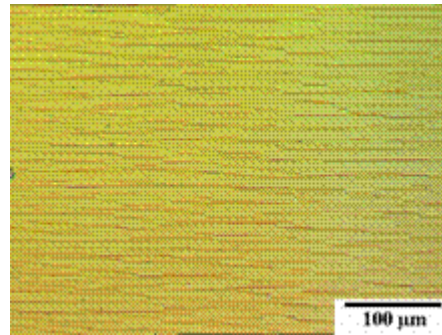
კუბური 3C-SiC კრისტალების ზრდა:

3C-SiC-ის ელექტრონიკაში გამოყენებისათვის, საჭიროა გადავწყვიტოთ 2 მნიშვნელოვანი საკითხი.

- 1) 3C ეპიტაქსიისთვის ვიპოვოთ ადეკვატური საწყისი კრისტალი (მარცვალი) (რადგან არ არსებობს მაღალი ხარისხის მქონე 3C კრისტალები)
- 2) განვაითაროთ ზრდის ახალი მეთოდი, რომელიც ხელს შეუწყობს კარგი კრისტალური ხარისხის მქონე 3C ნიმუშების (დეფექტების დაბალი კონცენტრაცია) მიღებას დაბალ ტემპერატურებზეც კი (3C-ის სტაბილიზაციისთვის). რაც შეეხება საწყის ნიმუშებს, კრისტალური სილიციუმი ფართოდ არის შესწავლილი SiC ეპიტაქსიისათვის, მაგრამ მიღებული 3C მასალა იყო ყოველთვის დაბალი ხარისხის. კონკრეტულ პირობებში 6H და 4H პოლიტიპები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც მარცვლები 3C ეპიტაქსიისთვის, მაგრამ ფენები ყოველთვის შეიცავენ დიდი რაოდენობის დეფექტებს. დღეისათვის ევროპაში ვითარდება ზრდის ახალი მეთოდები, რომელიც გამიზნულია 3C პოლიტიპების მისაღებად. მათ წარმოადგენს ძალიან იმედისმომცემი ახალი შედეგები. ზოგ შემთხვევაში მიიღება კარგი ხარისხის მქონე 3C ფენები (სისქე რამდენიმე მიკრომეტრი, 10-6 მკმ) 6H (ან 4H) ბაზაზე, მაშინ როცა სხვა შემთხვევაში ხდება უფრო სქელი 3C მასალის (რამდენიმე ასეული მიკრონიდან რამდენიმე მმ სისქემდე) მიღება, რომლის დროსაც შენარჩუნებულია ქვედა 3C ფენების ხარისხი. საერთაშორისო დონეზე არ არის რეალური კონკურენტი რომელიც მსგავს ტექნიკას იყენებს, რაც იმას ნიშნავს რომ ევროპა არის მოწინავე ამ სპეციფიკურ თემატიკაში და მთავარ როლს თამაშობს.



6H-SiC ბაზაზე მიღებული დეფექტური 3C-SiC ეპიტაქსიური ფენები



6H-SiC ბაზაზე მიღებული მაღალი ხარისხის 3C-SiC ეპიტაქსიური ფენები

MANSIC-ის მიზნები

წარმოდგენილი MANSIC კონსორციუმი აერთიანებს ჯგუფებს, რომლებიც ანვითარებენ ზრდის ასეთ ახალ ტექნიკას და სხვა ევროპულ ლაბორატორიებს SiC-ს ელექტრონიკის სფეროში საერთაშორისოდ აღიარებული გამოცდილებით. ეს ერთობლივი ძალისხმევა უეჭველად უზრუნველყოფს განვითარებით უკეთესი (ვიდრე ფაქტიურად კომერციული პროდუქტია) ხარისხის მქონე კრისტალური 3C-SiC-ის ალტერნატიული ევროპული კომერციული წყარო, ასეთი გაუმჯობესებული მასალა პირველად გამოკვლეული და შემოწმებული იქნება (დაწყებული ზედაპირის პოლირებიდან ხელსაწყოს მიღებამდე), ელექტრონული ხელსაწყობის გაუმჯობესების/შექმნის მიზნით.

ასეთი კომპლექსური და ურთიერთდაკავშირებული სამეცნიერო პროექტი არის საუკეთესო საფუძველი ახალგაზრდა მეცნიერების მომზადებისთვის მყარი სხეულების ფიზიკის დარგში. დოქტორანტები და ახალგაზრდა მეცნიერები გაივლიან ტრეინინგს სხვადასხვა სფეროებში: ზრდის ახალი ტექნიკიდან, ნახევარგამტარის დახასიათებამდე და ელენტრონული ხელსაწყოების მიღებამდე. ვორკშოპები და სასწავლო სკოლები ორგანიზებული იქნება, იმისათვის რომ ახალგაზრდა მეცნიერებს მივაწოდოთ აუცილებელი სამეცნიერო ცოდნა და საშუალება მივცეთ წარმოუდგინონ მათი სამუშაო და სამეცნიერო შედეგები სამეცნიერო საზოგადოებას.