МИКРОТВЕРДОСТЬ КРЕМНИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ БОРА

С.А. Вабищевич[1)], Н.В. Вабищевич[1)], Д.И. Бринкевич[2)], В.С. Просолович[2)], Ю.Н. Янковский[2)]

[1)] *УО «Полоцкий государственный университет», ул. Блохина, 29, Новополоцк-214400. Беларусь; e-mail: vabser@tut.by*

[2)] *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск-220050, Беларусь, Тел: 017-2095051; e-mail: prosolovich@bsu.by*

Исследовано изменение микротвердости пластин кремния при высокоэнергетичной имплантации бора (5,6 – 13,6 МэВ) дозой 1.10^{13} до 1.10^{16} $см^{-2}$. Обнаружено упрочнение приповерхностного слоя толщиной до 1 мкм.

Введение

Применение ионного легирования с ускоряющим напряжением свыше 1 МэВ в процессе производства полупроводниковых приборов открывает широкие возможности для создания проводящих и легирующих слоев на глубинах в десятки микрон, обеспечивает сокращение числа этапов маскирования и позволяет отказаться от дорогостоящих эпитаксиальных структур [1]. Процессы радиационного дефектообразования при высокоэнергетичной ионной имплантации бора изучены достаточно хорошо [1-3]. Однако прочностные свойства практически не исследовались.

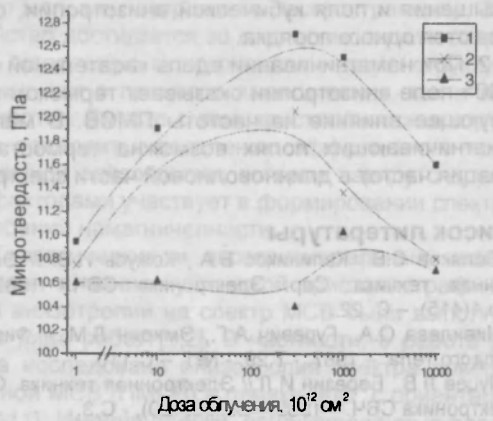

Рис.1. Зависимость микротвердости кремния от дозы имплантированных ионов бора. Нагрузка, г: 1 – 50, 2 – 100, 3 – 200. Энергия ионов 13,6 МэВ.

При абразивной обработке полупроводниковых материалов важно уметь прогнозировать такие характеристики как скорость абразивного износа и глубина приповерхностных повреждений, возникающих при различного рода абразивном воздействии на обрабатываемый материал. Указанные характеристики сложным образом зависят от комплекса механических свойств обрабатываемого материала – упругих (модуль Юнга), пластических (твердость) и хрупких (трещинностойкость) [4]. Как правило, эти механические свойства определяются различными методами в условиях напряженного состояния далеких от контактного нагружения, имеющего место при абразивном воздействии. Единственным методом, позволяющим моделировать контактное взаимодействие абразивных частиц с обрабатываемым материалом, является микроиндентирование [4, 5].

Методика эксперимента

В настоящей работе исследовано влияние высокоэнергетичной имплантации B^+ на микротвердость монокристаллического кремния.

Монокристаллы кремния n (КЭФ-4,5) и p(КДБ-20)-типов проводимости имплантировались ионами бора с энергией (5,6 – 13,6) МэВ и дозой от 1.10^{13} до 1.10^{16} $см^{-2}$. Плотность ионного тока составляла ~1,0 мкА/$см^2$.

Измерения микротвердости (H) проводились на приборе ПМТ-3. Нагрузка на индентор варьировалась в пределах 50-300 г. При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков и проводилась обработка результатов измерений с использованием методов математической статистики. Погрешность измерений микротвердости составляла не более 2-3 %.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Типичные кривые зависимости микротвердости H от величины нагрузки P имплантированных образцов представлены на рис.1. Для всех исследовавшихся образцов они имели вид, характерный для непластичных (твердых) кристаллов: микротвердость существенно уменьшалась при увеличении нагрузки от 50 до 200 г., а при дальнейшем возрастании P она изменялась незначительно. Такое приповерхностное упрочнение монокристаллов кремния наблюдалось ранее авторами [6] и, по их мнению, обусловлено димеризацией химических связей и формированием микрорельефа поверхности.

Имплантация ионов B^+ приводила к увеличению эффекта приповерхностного упрочнения: микротвердость при малых нагрузках (50 г) существенно возрастала, а при нагрузках 200 г и выше – ее изменения не превышали 3 – 5 %, что близко к погрешности измерений (рис.1). Эффект приповерхностное радиационного упрочнения существенно зависел от энергии имплантируемых ионов. Так при имплантации ионов бора с энергией 13,6 МэВ указанный эффект достигал максимума при дозе имплантации ~ 5.10^{14} $см^{-2}$, а для ионов с энергией 5,6 МэВ не выходил на насыщение даже при максимальной дозе 1.10^{16} $см^{-2}$ (рис.2).

Отметим также, что высокоэнергетичная имплантация бора приводила к уширению распределения микротвердости, особенно при малых нагрузках (рис.3), причем указанный эффект с ростом дозы (особенно в диапазоне доз 10^{13} –

10^{14} см$^{-2}$) существенно снижался. Это свидетельствует об образовании у поверхности дефектных областей с размерами, близкими к разрядам отпечатков (~1 мкм). Эти области при увеличении дозы облучения перекрываются, что приводит к уменьшению ширины профиля распределения Н.

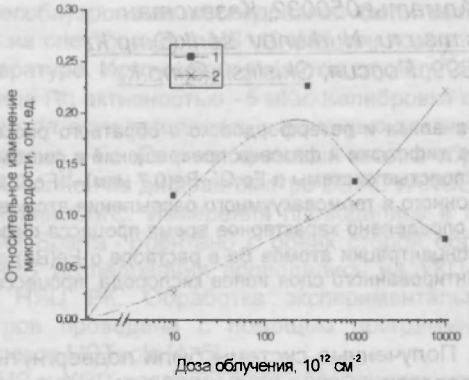

Рис.2. Зависимость относительного изменения микротвердости при увеличении нагрузки от 50 до 200 г (H_{50} – H_{200} / H_{200}) от дозы облучения ионами В с энергиями, МэВ: 1– 13,6 ; 2 – 5,6.

Отметим, что ранее [8] изменения слоевого сопротивления у поверхности при высокоэнергетичной имплантации обнаружено не было. Это указывает на то, что приповерхностной области формируются электрически неактивные дефекты предположительно междоузельного типа. Вакансионные дефекты, формирующиеся на глубине ~ 5мкм [8], соответствующей нагрузке 200-400 г, существенного вклада в величину микротвердости кремния не дают.

Заключение

Таким образом, показано, что облучение высокоэнергетичными ионами бора приводит к приповерхностному упрочнению монокристаллов кремния. Эффекта дальнодействия, наблюдавшегося при низкоэнергетичной имплантации авторами [7], не обнаружено. Экспериментальные результаты указывают на наличие в приповерхностном слое толщиной менее 1 мкм дефектов предположительно междоузельного типа, которые не приводят к росту удельного сопротивления.

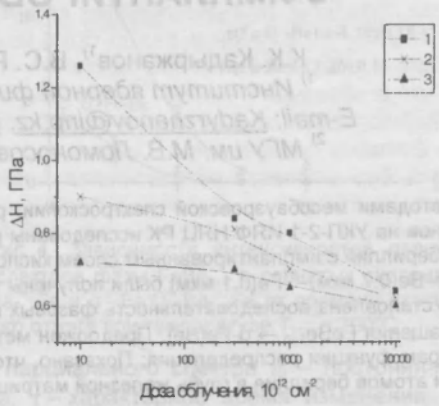

Рис.3. Зависимость ширины профиля распределения микротвердости ΔН от дозы имплантированных ионов бора. Нагрузка, г.: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 200. Энергия ионов – 13,6 МэВ

Список литературы

1. *Буренков А.Ф., Комаров Ф.Ф.* // Журнал технической физики. – 1988. – Т.58. № 3. – С.559.
2. *Аль-Баккур Ф., Дидык А.Ю., Козлов И.П., Оджаев В.Б., Петров В.В., Просолович В.С., Сохацкий А.С.* // Физика и техника полупроводников. – 1991. – Т.25. № 10. – С.1841.
3. *Комаров Ф.Ф., Новиков А.П., Соловьев В.С., Ширяев С.Ю.* Дефекты структуры в ионноимплантированном кремнии. – Минск: Университетское, 1990. – 320 с.
4. *Литвинов Ю.М., Литвинов М.Ю.* // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2004. – № 4. – С.11.
5. *Булычев С.И., Алехин В.П.* Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
6. *Герасимов А.Б., Чирадзе Г.Д., Казаров Р.Э., Ломидзе И.Д., Ратиани Т.К.* // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – № 3. – С.71.
7. *Тетельбаум Д.И., Азов А.Ю.* // Вестник Нижегородского ун-та. Сер. Физика твердого тела. – 2001. – № –2. – С.120.
8. *Brinkevich D.I., Odzhaev V.B., Prosolovich V.S., Yankovski Yu.N.* // VACUUM. – 2005. V.78. – P.251

MICROHARDNESS OF SILICON IMPLANTED BY HIGH-ENERGY BORON IONS

Vabishchevch S.A., Vabishchevch N.V., D.I. Brinkevich, V.S. Prosolovich, Yu.N. Yankovski
[1)]Polotski *State University, Blohina str.29, 211440 Novopolotsk, Belarus.* , *e-mail: vabser@tut.by*
[2)] *Byelorussian State University, Nezavisimosty ave., 4, 220050 Minsk, Belarus*
Tel: 017-2095051, e-mail: prosolovich@bsu.by

Microhardness of monocrystall silicon implanted by high-energy (5,6 – 13,6 MeV) boron ions was studied. It was founded the consolidation effect at surfase layer (thickness less 1 μm).