

МИКРОТВЕРДОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. И. Бринкевич¹, Н. В. Вабищевич², С. А. Вабищевич²,
В. С. Просолович¹, Ю. Н. Янковский¹

¹Белорусский государственный университет, prosolovich@bsu.by

²Полоцкий государственный университет

Современные экономические условия производства, требующие повышения производительности труда, снижения материалоемкости производства и повышения процента выхода годных приборов, влекут за собой необходимость исследования физико-механических характеристик материалов. Обусловлено это тем, что, с одной стороны, на различных стадиях технологического процесса полупроводниковые пластины подвергаются различным механическим воздействиям (скрайбирование, посадка в корпус и т.д.). С другой стороны, в полупроводниковых структурах могут развиваться сильные внутренние напряжения, приводящие к генерации микродефектов и снижению выхода годных приборов. Потери, связанные с выбраковкой готовой продукции, часто обусловлены абразивной обработкой полупроводниковых материалов, при которой важно прогнозировать скорость абразивного износа и глубину приповерхностных повреждений. Единственным методом, моделирующим контактное воздействие абразивных материалов на приповерхностную область пластины, является микроиндентирование [1].

Измерение механических характеристик ковалентных кристаллов имеет ряд особенностей, которые следует учитывать как при проведении экспериментов, так и при анализе и обработке результатов. Современные промышленные монокристаллы полупроводников, являются высокосоввершенными материалами, содержащими малое количество дислокаций. Появление и движение дислокаций в таких кристаллах затруднено по причине высокого потенциала Пайерлса. Преобладающим механизмом деформации (по крайней мере, на начальных этапах) является краудсионный механизм, при котором перемещение материала происходит в основном за счет движения точечных дефектов [2].

Особое внимание при индентировании полупроводниковых материалов следует обращать на методику обработки полученных результатов. Для высокочистых полупроводников изменение физико-механических параметров в пределах 2-3 % существенно влияет на свойства материала. Актуальной задачей становится правильность выбора методики проведения измерений и статистической обработки результатов, которые обеспечивали бы получение достоверных результатов с указанной малой погрешностью.

Факторами, позволяющими снизить погрешность измерений и повысить их достоверность, являются: проведение достаточно большого количества измерений; проведение определенной серии измерений одним оператором; повторное измерение контрольных образцов при каждой перенастройке прибора; выбор оптимальной методики статистической обработки результатов, обязательно включающей в себя выявление и исключение грубых погрешностей по результатам определения критерия надежности и определение характера распределения для оставшейся части измерений путем определения χ^2 -критерия Пирсона.

В настоящей работе представлен анализ наиболее существенных из указанных особенностей и показан метод подбора оптимального режима исследования монокристаллов полупроводников методом микроиндентирования, который позволяет оценить микротвердость материала, характеризующую механическую прочность кристаллической решетки в условиях неоднородного напряженного состояния. Помимо этого при проведении испытаний методом микроиндентирования возможно проведение оценки микрохрупкости и трещиностойкости пластин, что позволяет комплексно анализировать результаты исходя из нескольких прочностных характеристик [1]. Оптимальными нагрузками при индентировании большинства полупроводниковых материалов является 50-200 г. При нагрузках ниже 50 г существенным образом сказывается влияние поверхности, в частности, ее обработки (шлифовка, полировка) и наличия на ней технологических примесей. При высоких нагрузках (свыше 200 г) часть отпечатков непригодна для измерения вследствие разрушения или наличия сколов у боковых граней.

Экспериментально подтверждено (рис.1), что для всех исследованных промышленных пластин полупроводниковых материалов имеет место нормальное (гауссово) распределение измеряемых величин микротвердости (длины диагоналей отпечатка). Величины случайной ($\varepsilon_{сл}$) и полной (ε) погрешности приведены в табл.1. Видно, что $\varepsilon_{сл}$ и ε находятся в пределах $\varepsilon_{сл} = 1,9-2,2 \%$, $\varepsilon = 2,9-3,1 \%$, и слабо зависят от кристаллографической ориентации пластины, типа и концентрации легирующей примеси. Определение данных величин при контроле позволяет фиксировать даже небольшие изменения H вызванные изменением дефектно-примесного состава полупроводниковых монокристаллов.

Анализ кривых гауссового распределения дает возможность получить информацию о влиянии различного рода воздействий на микротвердость кремния. Так, введение в монокристалл дефектно-примесных неоднородностей, размеры которых меньше размеров отпечатка индентора, приводит к увеличению дисперсии микротвердости (уширению гауссовой кривой). При наличии скоплений дефектов с размерами, превышающими размеры отпечатка, на случайном распределении микротвердости наблюдается два максимума (рис. 2), один из которых соответствует чистому полупроводниковому материалу, а второй включениям второй фазы (областям скопления дефектов). Такие распределения H наблюдались также для пластин кремния, содержащих дефекты упаковки [3].

Использование методов микроиндентирования и математической статистики позволяет получать результаты с 3% погрешностью, что позволяет зафиксировать даже небольшие изменения прочностных характеристик, которые свидетельствуют об изменении дефектно-примесного состава материала. Применение метода микроиндентирования позволяет проводить испытания в области малых нагрузок и оценивать вклад поверхности кристалла в величину деформации и характер разрушения; изучать процессы развития деформации в очень малых объемах, что открывает широкие возможности для исследования прочностных характеристик различных полупроводниковых структур.

Разработанные методы измерений и обработки результатов могут быть использованы для создания неразрушающего экспресс-метода оценки изменения прочностных характеристик полупроводниковых материалов и структур на их основе с минимальной погрешностью при высокой доверительной вероятности. Методика проведения измерений учитывает особенности индентирования монокристаллических по-

лупроводников и может быть использована на различных этапах технологической цепочки производства полупроводниковых приборов.

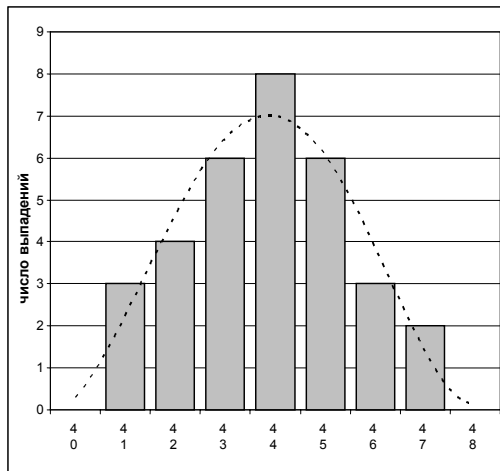


Рис.1. Гистограмма прямых измерений диагонали отпечатка пластин промышленного кремния КДБ 10(111)

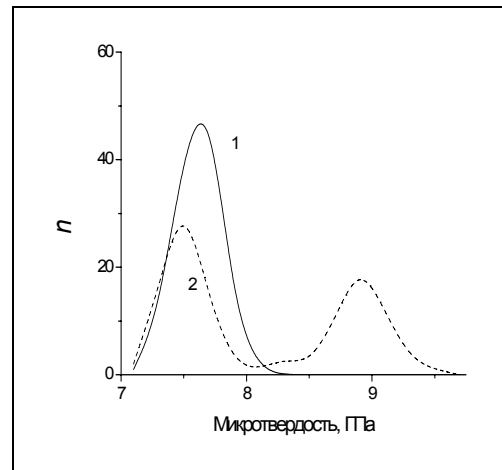


Рис.2. Случайное распределение величин микротвердости в эпитаксиальных слоях GaP специально нелегированных (1) и содержащих включения атомов Dy (2). Нагрузка – 150 г.

Экспериментально определенные величины случайной ($\epsilon_{сл}$) и полной (ϵ) погрешности измерений микротвердости для различных пластин кремния

№	Марка	Ориентация	$\epsilon_{сл},\%$	$\epsilon,\%$
1	КДБ 10	(111)	2,2	3,1
2	КДБ 0,03	(111)	1,9	2,9
3	КДБ 0,005	(111)	1,9	2,9
4	КЭС 0,01	(111)	2,1	3,0
5	КЭС 0,01	(100)	2,1	3,0

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литвинов, Ю.М.* Методология определения механических свойств полупроводниковых материалов с помощью метода непрерывного вдавливания индентора / Ю.М.Литвинов, М.Ю. Литвинов // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2004. № 4. С.11.
2. *Боярская, Ю.С.* Деформирование кристаллов при испытаниях на микротвердость. Кишинев: Штиинца, 1972. 235 с.
3. *Brinkevich, D.I.* Influence of background impurities on the formation of stacking faults in silicon wafers / D.I.Brinkevich, V.S.Prosolovich, S.A.Vabishchevich, A.N.Petlitskii // Russian Microelectronics. 2006. V.35, N 2. P.94.