

- [6] Patrick L., Choyke W. J. // Phys. Rev. 1961. V. 123. N 3. P. 813—815.
 [7] Spitzer W. G., Kleinman D. A., Walsh D. // Phys. Rev. 1959. V. 113. N 1. P. 127—132.
 [8] Дубровский Г. Б., Лепнева А. А. Проблемы физ. и технол. широкозонных полупроводников. Л., 1979. С. 288—293.
 [9] Patrick L. // Phys. Rev. 1968. V. 167. N 3. P. 809—813.
 [10] Карклина М. И., Саидбеков Д. Т. // Неорг. матер. 1972. Т. 8. № 2. С. 378—380.
 [11] Inui H., Mori H., Fujita H. // Phil. Mag. B. 1990. V. 61. N 1. P. 107—124.

Физико-технический институт
 им. А. Ф. Иоффе
 Ленинград

Поступило в Редакцию
 14 декабря 1990 г.

© Физика твердого тела, том 33, № 7, 1991
 Solid State Physics, vol. 33, N 7, 1991

РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРАНИЦЫ Si—NaNO₂

П. А. Александров, А. А. Нефедов, В. А. Чапманов, С. С. Якимов

Пристальный интерес к исследованию поверхности кремния, покрытого пленкой сегнетоэлектрика, связан с возможностью накопления anomalно большого заряда на границе между полупроводником и сегнетоэлектриком и соответственно создания на этой границе сверхсильных электрических полей [1]. В данной работе с помощью метода асимптотической брэгговской дифракции (АБД) рентгеновских лучей [2] обнаружено уменьшение межплоскостного расстояния в переходном слое на поверхности монокристалла кремния при нанесении пленки NaNO₂ и увеличение толщины этого слоя. Наблюдаемые изменения обратимы, поэтому маловероятно, что они связаны с диффузией атомов в глубь кристалла. Наиболее естественной причиной наблюдаемых изменений представляется сильное электрическое поле, индуцированное пленкой сегнетоэлектрика.

Измерения интенсивности рентгеновского пучка, дифракционно отраженного кристаллом в широком угловом диапазоне (метод АБД), дают возможность получения важной физической информации о структурном совершенстве приповерхностных слоев кристалла и границ раздела [3]. В этих условиях волны, дифракционно рассеянные на внутренних слоях совершенного кристалла, последовательно гасят друг друга. Таким образом, дифракционное рассеяние при больших отклонениях $\alpha = \theta - \theta_B$ угла падения рентгеновских лучей θ от угла Брэгга θ_B формируется в приповерхностном слое, толщина l которого становится тем меньше, чем больше α .

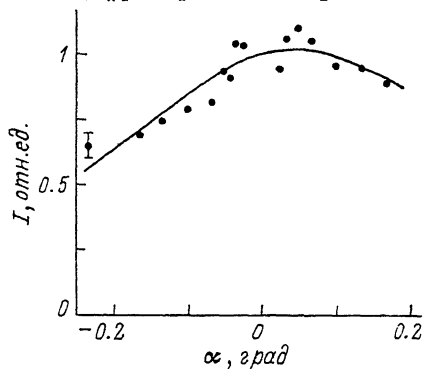
$$l = \lambda / 4\pi\alpha \cos \theta_B,$$

где λ — длина волны используемого излучения. Метод трехкристалльной рентгеновской дифрактометрии, в основе которого лежит прецизионный анализ углового распределения отраженного рентгеновского пучка, позволяет отделить чисто дифракционное рассеяние от сопутствующего ему диффузного рассеяния на дефектах кристаллической структуры. Он дает возможность проводить измерения в угловом диапазоне порядка 0.02 рад и достичь разрешения по толщине анализируемого слоя до долей нанометра.

Поверхность кристаллов кремния, ориентированных параллельно кристаллографическим плоскостям (100), обработана по стандартной микрорелектронной технологии. Слой NaNO₂ толщиной от 4 до 8 мкм (для разных образцов различной) выращивались из расплава по методике, описанной в работе [4].

Измерения проводились на трехкристальном рентгеновском спектрометре с совмещенными осями, который позволяет анализировать дифракционное отражение рентгеновских лучей от монокристалла в угловом диапазоне до нескольких градусов без перестройки (при помощи обычного рентгеновского источника мощностью 2 кВт). Использовалось CuK_α -излучение с длиной волны $\lambda=0.154$ нм. Данные, полученные для различных образцов, усреднялись. Отклонения измеренных значений от усредненных находятся в пределах статистических ошибок.

На рисунке представлена угловая зависимость приведенной интенсивности дифрагированного рентгеновского пучка, а именно интенсивности,



деленной на интенсивность, рассчитанную для идеального кристалла. По своему смыслу для идеального кристалла (т. е. совершенного кристалла, атомы на поверхности которого занимают те же положения, что и в глубине) приведенная интенсивность остается постоянной и равной 1.

Угловая зависимость приведенной интенсивности дифрагированного рентгеновского пучка.

Отклонение ее от единицы характеризует степень искажения структуры приповерхностного слоя кристалла или границы раздела между кристаллом и покрытием. Теоретическая кривая рассчитана для значения толщины нарушенного слоя 2.6 ± 0.4 нм при среднем уменьшении межплоскостного расстояния в этом слое на 0.22 ± 0.05 %. Хорошее согласие между расчетом и экспериментом подтверждает применимость используемой модели и достоверность полученных параметров. При удалении пленки все искажения релаксировали.

Выяснение природы наблюдаемых искажений, связанных, как мы полагаем, с наличием в приповерхностном слое сильного электрического поля, требует дальнейших исследований.

Авторы благодарны П. Вюрфелю за изготовление образцов для исследований.

Список литературы

- [1] Vogt H., Ulm R., Wurfel P., Ruppel W. // Phys. Stat. Sol. (a). 1986. V. 93. P. 299—308.
- [2] Afanas'ev A. M., Aleksandrov P. A., Imamov R. M., Lomov A. A., Zawjalova A. A. // Acta Cryst. 1984. V. A40. P. 352—355.
- [3] Якимов С. С., Чаплавов В. А., Афанасьев А. М., Александров П. А., Имам-ов Р. М., Ломов А. А. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. С. 3—5.
- [4] Vogt H., Zepf H. P., Wurfel P., Ruppel W. // Ferroelectrics. 1981. V. 33. P. 53—59.

Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова
Москва

Поступило в Редакцию
16 декабря 1990 г.