

ФОТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРЕМНИЕВЫХ СЛОЯХ СТРУКТУР КРЕМНИЙ НА САПФИРЕ

Г. Д. Чирадзе

Государственный университет Акакия Церетели
E-mail: gogichiradze@yahoo.com

Для уменьшения механических напряжений и повышения структурного совершенства эпитаксиальных слоев кремния на сапфире - КНС структур возможно применение метода импульсной фотонной обработки - ИФО [1,2], однако полученные при этом экспериментальные результаты интегрально определяются состоянием как монокристаллического, так и переходного слоя кремний-сапфир.

В настоящей работе приводятся результаты сравнительных исследований фотомеханического эффекта - ФМЭ на образцах КНС с разной толщиной кремниевого слоя, как на исходных так и подвергнутых ИФО. Проводились также эксперименты по рентгенодифракционным исследованиям по определению значений полуширины кривых качаний с целью оценки структурного совершенства кремниевых слоев.

Исследовались образцы КНС структур с толщиной кремниевого слоя $d = 600, 1000, 2000$ и 3000 нм с ориентацией поверхности (100), n-типа проводимости, с концентрацией носителей $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, полученные эпитаксиальным осаждением на ($\bar{1}102$) поверхность сапфировой подложки методом кристаллизации из газовой фазы.

Методика измерения МТ в темноте и при освещении белым светом описаны в работе [3]. Нагрузка на индентор выбиралась равной 25 г, при которой, в случае образца с толщиной кремниевого слоя 600 нм, глубина вдавливания индентором не выходила за рамки эпитаксиального слоя. Во всех измерениях большая диагональ пирамиды Кнупа была ориентирована вдоль направления $\langle 100 \rangle$ в исследуемой (100) плоскости.

Рентгенодифракционные исследования проводились на двухкристальном рентгеновском спектрометре ДРОН-3М, в геометрии (n,-n), в четвертом порядке отражения, с использованием $\text{CuK}\alpha_1$ излучения. При этом определялась величина ширины на половине высоты кривой качания ($\Delta\theta$), поскольку уширение последнего определяется дефектностью по толщине слоя.

ИФО осуществлялась на установке импульсного фотонного отжига, в режиме длительности импульса 3 сек при плотности мощности 92 Вт/см^2 .

На рис.1 приведены результаты исследований, отражающие зависимости темновых и световых МТ КНС структур от толщины кремниевого слоя для исходных и подвергнутых ИФО образцов. С уменьшением толщины кремниевого слоя значения МТ возрастают, однако при этом значения световых МТ нарастают быстрее, чем темновых МТ, поэтому величина ФМЭ с уменьшением толщины кремниевого слоя уменьшается, рис.2. Величина ФМЭ выражена в относительных единицах $\Delta N/N$, где: $\Delta N = N - N_{\text{св}}$, N и $N_{\text{св}}$ соответствующие значения темновых и световых МТ.

Если провести экстраполяцию зависимостей, приведенных на рис.2 в сторону толщин кремниевых слоев меньших 600 нм, следует, что для обоих типов образцов величина ФМЭ должна исчезать, начиная с толщины кремниевого слоя меньше 300 нм. Это хорошо согласуется с существующими в литературе данными, согласно которым структура КНС состоит не только из монокристаллического слоя кремния и

сапфировой подложки, но и переходного слоя кремния толщиной до 300 нм на границе раздела [4]. Исходя из этого, возрастание величин ФМЭ кремниевых слоев КНС структур с ростом толщины кремниевого слоя и его сравнительно завышенные значения в результате ИФО по сравнению с исходными образцами (рис.2) должны быть связаны с уменьшением дефектности в монокристаллической части эпитаксиального кремниевого слоя.

Приведенные рассуждения хорошо подтверждаются результатами экспериментов приведенных на рис.3, исходя из которых следует, что КНС структурам с меньшими толщинами кремниевых слоев и, следовательно, с заниженными величинами ФМЭ соответствуют возросшие значения полуширин кривых качаний.

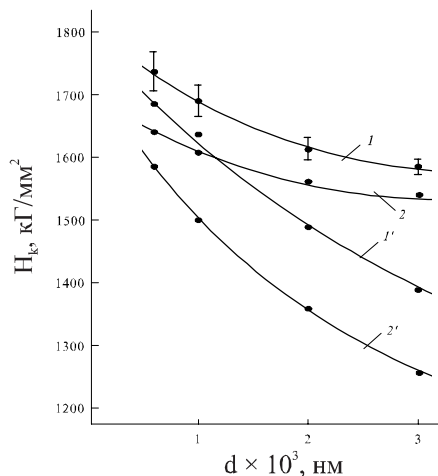


Рис.1. Зависимость значений темновых (1,2) и световых (1',2') МТ от толщины кремниевого слоя КНС структур.(1,1' – до, 2,2' – после ИФО). Погрешность измерения, указанная для данной толщины кремниевого слоя, сохраняется в случае ИФО и при ФМЭ

Из зависимостей приведенных на рис.3, также следует, что сведение величины ФМЭ до нуля почти одновременно наступает для обоих типов образцов, а соответствующая величина полуширины кривой качания равна ~ 1700 угл. сек., что находится в согласии с существующими аналогичными данными для КНС структур толщиной кремниевого слоя 300 нм.

Таким образом, на основе исследования ФМЭ в структурах КНС с разными толщинами кремниевых слоев показано, что повышение структурного совершенства кремниевых слоев в результате ИФО происходит из-за снижения дефектности в кристаллической части кремниевого слоя, а переходной слой вблизи границы раздела кремний-сапфир остается неизменным.

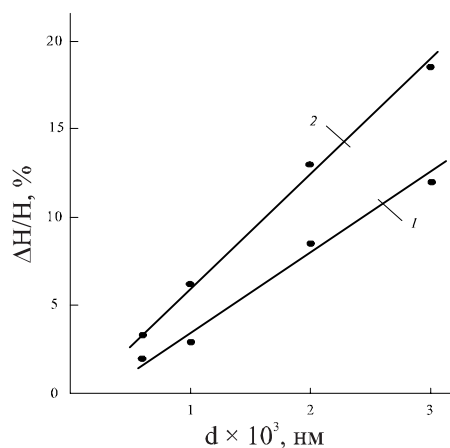


Рис.2. Изменение величин ФМЭ в зависимости от толщины кремниевых слоев КНС структур (1-исходные образцы, 2-подвергнутые ИФО)

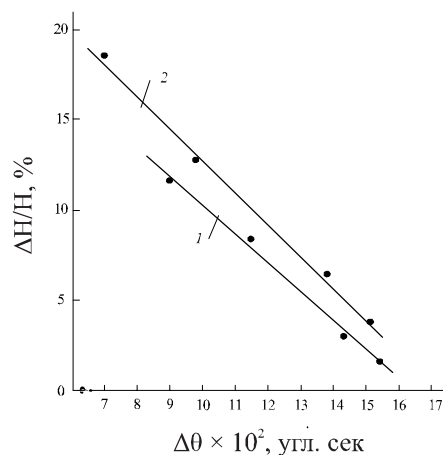


Рис.3. Зависимость величин ФМЭ для кремниевых слоев разных толщин КНС структур от соответствующих значений полуширин кривых качаний (1-исходные структуры, 2-после ИФО)

ЛИТЕРАТУРА

1. Чирадзе, Г. Д. Улучшение качества эпитаксиальных КНС структур путем обработки импульсами белого света / Г. Д. Чирадзе // Новые технологии. 2009. №2(28). С.12.
2. Чирадзе, Г. Д. Механические напряжения в гетероэпитаксиальных структурах кремний на сапфире и их фотостимулированное уменьшение: сб. статей XV международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении» / Г. Д. Чирадзе. 10-12 декабря. Пенза. 2011. С. 102.
3. Герасимов, А.Б. Исследование физической природы фотомеханического эффекта / А. Б. Герасимов, Г. Д. Чирадзе, Н. Г. Кутивадзе // ФТП. 2001. Т.35. №1. С.70.
4. Воротынцев, В. М. Применение имплантации ионов кремния для формирования структурно-совершенных слоев кремния на сапфире / В. М. Воротынцев, Е. Л. Шолобов, В. А. Герасимов // ФТП. 2011. Т.45. №12. С.1662.