

ВЛИЯНИЕ ДИФфуЗИИ БОРА НА РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРЕНЦИОННУЮ МУАРОВУЮ КАРТИНУ

А. О. АБОЯН, Ф. О. ЭЙРАМДЖЯН

В работе экспериментально исследовано влияние диффузии бора на рентгеноинтерференционную муаровую картину, полученную от рентгеновского интерферометра по Лауэ.

Исследование процесса диффузии в веществах является сравнительно старой проблемой, которая в течение ряда лет успешно разрабатывается многими физическими и металлургическими лабораториями мира. Изучение процессов диффузии в полупроводниках имеет особенно большое значение, так как в настоящее время кремний и германий являются наиболее широко используемыми материалами для изготовления полупроводниковых приборов. Имея в виду, что диффузия является основным технологическим процессом получения p - n -перехода, нетрудно понять, почему исследованию диффузии в кремнии и германии посвящено много работ.

Физические параметры кристаллов сильно зависят от дислокационной структуры, количества примесей, количества диффузанта и его распределения в нем. Известно, что в случае значительного различия ионных радиусов атомов основного материала и замещающей примеси в кристаллической решетке появляются напряжения, достаточные для возникновения дислокаций [1, 2].

Пруссин [1] и Квессер [2], используя дифракционные методы, а также методы избирательного травления, показали, что при высоких концентрациях легирующей примеси ($\sim 10^{20}$ см⁻³), если размеры диффундирующих атомов и атомов полупроводника сильно различаются между собой (например, для бора $r_B = 0,20$ Å, для кремния $r_{Si} = 0,35$ Å), в кристаллической решетке полупроводника возникают значительные упругие напряжения ($\sim 10^9$ дин/см²). Напряжения такой величины ведут к образованию как отдельных дислокаций, плотность которых, как показал Пруссин, пропорциональна градиенту концентрации, так и целых сеток дислокаций или линий скольжения, ориентированных в определенных кристаллографических направлениях. При диффузии фосфора в кремний кроме дислокаций было обнаружено множество других дефектов. Это, в первую очередь, выделения в виде P или SiP [3], а также, в некоторых случаях, образования эвтектики $SiP + Si$ на поверхности монокристалла [4].

Представляет большой интерес исследование структурных изменений, происходящих из-за диффузии. Действительно, с одной стороны, очень интересно исследование влияния малых примесей и дефектов на физические свойства полупроводников, а с другой стороны, интерферометрические исследования очень чувствительны и с большим успехом могут обнаружить небольшие структурные искажения [5, 6]. Более того, интерферометриче-

ски можно обнаружить все детали структурных изменений даже при больших концентрациях примесей.

Для исследования влияния диффузии на муаровую картину (а значит, на внутреннюю структуру кристалла) был изготовлен интерферометр по Лауэ из почти совершенного (бездислокационного) монокристалла кремния с отражением (220) для SiK_α -излучения.

Рентгеновский интерферометр по Лауэ состоит из трех блоков (см. рис. 1): S — блок-расщепитель, M — зеркальный блок и A — блок-анализатор. Пучок рентгеновского излучения, падая под брэгговским углом, расщепляется на два пучка; последние, отражаясь от зеркального блока M , налагаются у входной поверхности блока-анализатора A , и если между налагающимися волнами существует разность фаз, то в выходных пучках наблюдается интерференционная картина. При работе с интерферометром интерференционная картина наблюдается только в том случае, когда отражающие плоскости в областях 1, 2, 3 и 4 (рис. 1) имеют относительные разбросы межплоскостных расстояний или когда они повернуты друг относительно друга. Интерференционная картина, полученная за счет дисторсии решетки, называется рентгеноинтерферометрической муаровой картиной (в первом случае — параллельный, во втором — поворотный муар).

Интерферометр устанавливался в отражающее положение на дифракционной камере, схема сканирования (возвратно-поступательного движения) которого показана на рис. 1. При неподвижных пучке и диафрагме

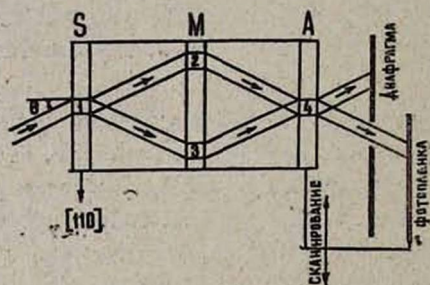


Рис. 1. Схема интерферометра со сканированием.

сканировался интерферометр с фотопленкой. Полученная муаровая картина приведена на рис. 2, из которой видно, что в направлении сканирования муаровая картина непрерывно меняется.

Обычно диффузия производится при высокой температуре, поэтому сначала необходимо было исследовать влияние отжига на блоки интерферометра, так как при его изготовлении возникает напряжение между блоками. Для исследования влияния термообработки на блоки интерферометра и получения сравнительно надежных результатов о влиянии диффузии на рентгеноинтерферометрическую картину, а также прогнозирования распределения диффузанта в кристалле (в блоке-анализаторе интерферометра), необходимо было подвергнуть интерферометр отжигу. Отжиг интерферометра производился в условиях высокого вакуума (10^{-5} тор) в запаянной кварцевой ампуле при температуре 1300°C в течение 5 часов.



Рис. 2.

Рис. 2. Муаровая картина от интерферометра.



Рис. 3.

Рис. 3. Муаровая картина от интерферометра после отжига.



Рис. 4.

Рис. 4. Муаровая картина от интерферометра после проведения диффузии.

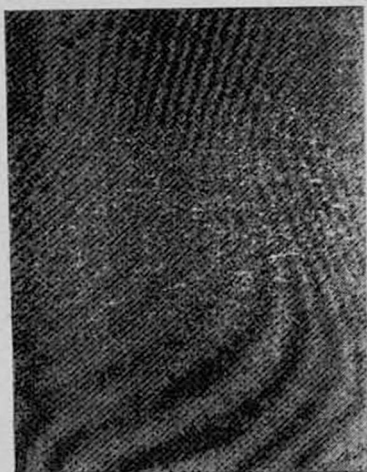


Рис. 5.

Рис. 5. Муаровая картина от интерферометра после удаления диффузионного слоя.



с последующим медленным охлаждением в течение 12 часов. После отжига сканированием получалась соответствующая рентгеновская топограмма, которая приведена на рис. 3. Сравнение этой картины с картиной на рис. 2 показывает, что отжиг, снимая напряжение, не полностью восстанавливает совершенство блоков интерферометра.

Для исследования влияния диффузии на рентгеноинтерферометрическую картину на поверхность блока-анализатора интерферометра наносился раствор борной кислоты. Диффузия проводилась в режиме отжига, т. е. в откачанной запаянной кварцевой ампуле при температуре 1300°C в течение 5 часов с последующим медленным охлаждением в течение 12 часов. Глубина диффузии составляла $40 \div 50$ мкм, концентрация бора — $C = 2 \cdot 10^{17}$ атом/см³. После проведения диффузии сканированием была получена рентгеновская топограмма, которая приведена на рис. 4. После удаления диффузионного слоя в 50 мкм была получена топограмма, изображенная на рис. 5 (сравнение топограммы на рис. 5 с топограммой на рис. 4 показывает улучшение видимости муаровых полос).

Анализ топограмм, полученных после отжига, диффузии и снятия диффузионного слоя, приводит к следующим выводам.

1. Вследствие отжига интерферометра, деформированного при изготовлении, снимается напряженное состояние его пластин и происходит блокообразование.

2. Из-за диффузии происходит сильное нарушение кристаллической структуры анализатора интерферометра. Структурные нарушения на анализаторе настолько велики, что в его отдельных участках исчезает аномальное прохождение, как это хорошо видно на топограмме, изображенной на рис. 4.

3. Анализ изменения муаровых картин, образующихся в процессе диффузии бора в кремний, свидетельствует о недислокационном характере возникновения напряжений.

4. При удалении (химической полировке) поверхностного диффузионного слоя блока-анализатора интерферометра видимость муаровых картин улучшается.

Ереванский государственный
университет
Ереванский политехнический
институт

Поступила 30.IV.1977

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Prussin. J. Appl. Phys., 32, 1876 (1961).
2. H. J. Quesser. J. Appl. Phys., 32, 1776 (1961).
3. M. L. Josht, B. J. Mastersa, S. Dach. Appl. Phys. Lett., 7, 305 (1965).
4. В. М. Альтшуллер. ФТТ, 10, 1136 (1968).
5. Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безиригян. Изв. АН АрмССР. Физика, 5, 453 (1970).
6. А. О. Абоян, Ф. О. Эйрамджян. Ученые записки ЕГУ, Физика, 2, 54 (1976).

ԲՈՐԻ ԴԻՖԴՈԶԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՌԵՆՏԳԵՆԱԿՆՏԵՐՖԵՐԵՆՏԻՈՆ
ՄՈՒԱՐԻ ՊԱՏԿԵՐԻ ՎՐԱ

Ա. Հ. ԱՐՈՅԱՆ, Ֆ. Հ. ԷՅՐԱՄԴՅԱՆ

Աշխատանքում հետազոտված է բորի դիֆուզիայի ազդեցությունը ռենտգենյան ինտերֆերոմետրից ստացված ինտերֆերենցիոն (մուարի) պատկերի վրա: Ցույց է տրված, որ դիֆուզիայի հետևանքով աղավաղվում է ինտերֆերոմետրի անալիզատորի բյուրեղական կառուցվածքը և որոշ տիրույթներում վերանում է ռենտգենյան ճառագայթների անոմալ անցումը:

THE EFFECT OF BORON DIFFUSION ON THE X-RAY
INTERFEROMETRIC MOIRE PATTERN

A. H. ABOYAN, F. H. EIRAMDZHYAN

The effect of boron diffusion on the interference (Moire) pattern, obtained with a X-ray interferometre, is studied. It is shown that as a result of diffusion, the crystallographic structure of the analyser is destroyed (in some regions the anomalous transition of X-rays vanishes).