

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Труды XXIV Международного
симпозиума**

10–13 марта 2020 г., Нижний Новгород

Том 2

Секции 3, 5

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2020

Исследование временной деградации кремниевых наноструктур в процессе автоэлектронной эмиссии на основе in-situ методики РЭМ измерений

С.Ю. Коротков¹, Г.Д. Демин¹, Н.А. Дюжев¹, М.А. Махиборода¹ И.Д. Евсиков¹,
Н.А. Филиппов¹

¹ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», пл. Шокина,1, Москва, Зеленоград, 124498.

Экспериментально изучены зависимости эмиссионного тока лезвийного кремниевого катода от ускоряющего напряжения и давления в камере РЭМ. Продемонстрированы несколько видов разрушаемости кремния при разных условиях.

Введение

При разработке источников рентгеновских источников на основе автоэмиссионных катодных структур, одна из главных величин описывающих его качество будет являться его стойкость к правильной работе в рабочем режиме.

Для использования их в создании какой-либо техники необходимо точно знать не только «время жизни» катод-анодной конфигурации, его стойкость к физическим нагрузкам и т.д., но и иметь представление о самом процессе деградации автокатада в виду его принципиальной важности в полной работоспособности и поддержании его структуры заложенной при конструировании в максимально неотличном от изначального, заданного и проверенного в некоторых незначительных рамках погрешности измерения эмиттирующей структуры. И хотя такие материалы как графен и углеродные нанотрубки в качестве материала самих автоэммиттеров своими свойствами в автоэмиссии кажутся самыми заманчивыми, особенности работы с самими нанотрубками материалами представляет ряд дополнительных сложностей для работы с ними.

Нами, для исследования на меру свойственности испытываемых структур деградации был взят кремний как наиболее изученная структура обладающая наиболее распространенными заводскими и ресурсосоставляющее производства, наиболее выверенными техпроцессами и имеющие, помимо создания необходимого в технологической эволюции структур, шага в сторону улучшения техники, уменьшение финансового вложения, и времени наработки итогового устройства.

Эксперимент

Для изучения эмиссионных характеристик были изготовлены автоэмиссионные кремниевые катоды в конструктивных исполнении лезвийного типа (рис 1). На оснащенном электронагревателем керамическом держателе монтировалась кремниевая деталь с клинообразным профилем, сформированным анизотропным травлением кремния. Длина острой кромки составляла 2 мм. В первом случае анод представлял из себя медную пластину, во втором – иглу из вольфрама. Над образцами перед измерением не проводилась тренировка катода. В целях изучения процесса адсорбции/десорбции был выбран режим постоянного тока источника питания.

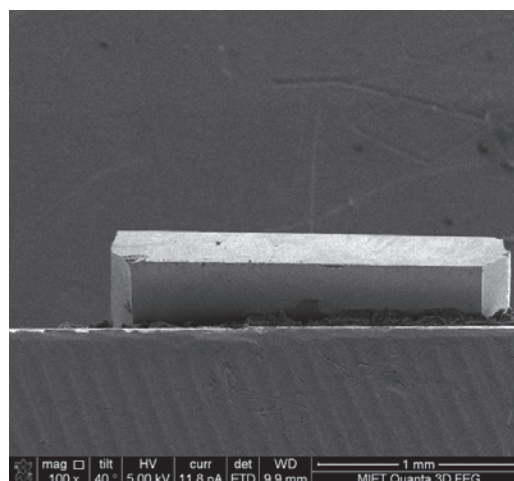


Рис. 1. Внешний вид тестируемых образцов. На вкладке - увеличенный фрагмент автоэмиссионного катода¹

Исследование происходило в РЭМ. Расстояние катод-анод составляло 50 мкм. Образцы проходили испытание и после появления плазмы.

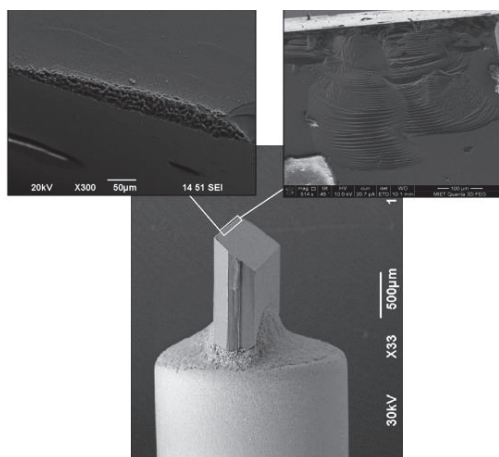


Рис. 2. Результаты разрушения образцов

Заключение

Одним из аспектов деградация кремниевых автоэмиссионных структур что влияют на необратимые изменения характеристик можно назвать разрушение наиболее эффективных эмиссионных центров в результате ионной бомбардировки. Обратимым данный процесс происходит только до взрыва или скола, изменения в свойствах материала в таких рамках можно отчасти описать явлением вытягивания и некоторой перестройки структуры образца пондермоторными силами, которые производят заострение и утоньшение структуры, что уменьшает пороговое напряжение автоэмиссии, это же явление вносит вклад в стойкость образцов, так как растянутая структура кремния уменьшает свою прочность не только в связи с бомбардировкой ионами газа в вакуумной камере, но и в связи с уменьшением сопротивлению фоновой составляющей. Вытянутая структура лучше производит процесс десорбции на себя остаточного газа, в том числе ионизированного, что увеличивает загряз-

ненность образца, но сам процесс перераспределения десорбата по автоэмиссионным центрам происходит под действием температуры, что и дает «время релаксации» явления гистерезиса. Десорбцией описывается начальный участок ВАХ, часть шумовой составляющей и участок начала гистерезиса, тогда как процесс вытягивания описывает остальную часть гистерезиса. Кремний обладает много большим сопротивлением вытягивающим силам и разрушению ионной бомбардировкой, что является свойством его кристаллической структуры и увеличивает не только стойкость к обратимому изменению характеристик, но и стойкость к деградации образца. Из этого всего можно сделать вывод что кремний является в некоторых аспектах не только превосходящим, но и незаменимым материалом в микро и нанопэлектронике, а потому пока не имеет смысла отходить от него, особенно учитывая степень его освоения и дешевизну. Дополнительно была доказана возможность измерений такого типа как представленный в РЭМ, что открывает новые пути развития использования данного прибора.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 14.578.21.0250, RFMEFI57817X0250) с использованием оборудования ЦКП "Микросистемная техника и электронная компонентная база", поддержанного Минобрнауки России.

Литература

1. Дюжев Н.А. и др., Журнал технической физики, 89 (12), 1836-1842 (2019).