

ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРИТЕЛЯ ИОНОВ «ТАНДЕТРОН» ПРИ СОЗДАНИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ С ПОВЫШЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

1) П. Б. Лагов, А. С. Дренин, М.А.Зиновьев, Е.С.Роговский (НИТУ «МИСиС»)
 2) В. А. Романов, А. И. Глотов, У. А. Кобец, С. В. Бажал, Б. В. Куприянов (АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»)

Рассмотрены возможности применения ускорителя ионов Тандетрон как технологического инструмента при создании полупроводниковых приборов различных типов на основе кремния и широкозонных материалов. Приведены краткие технические характеристики ускорителя. Представлены результаты улучшения электрических параметров различных кремниевых диодных структур и соответствующие режимы, выбранные с учетом двух и трехмерного моделирования взаимодействия ускоренных протонов с кристаллами диодов и последующего стабилизирующего отжига.

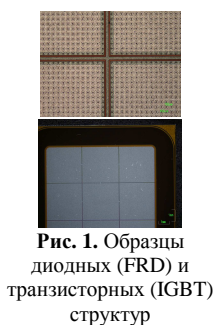
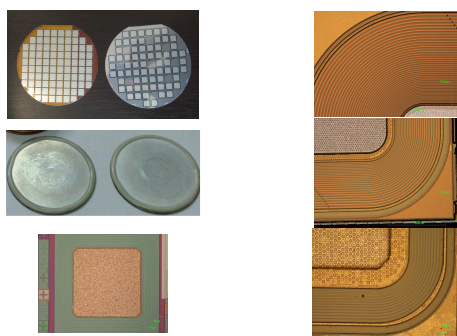


Рис. 1. Образцы диодных (FRD) и транзисторных (IGBT) структур

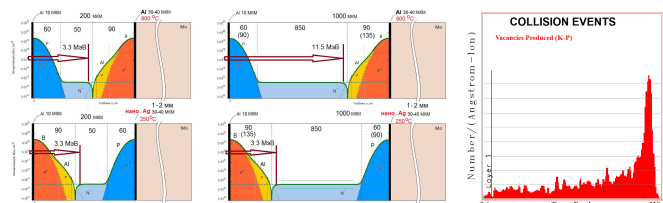


Рис. 2. Имитационное моделирование радиационного технологического процесса (РТП) с учетом особенностей приборной структуры и задачи

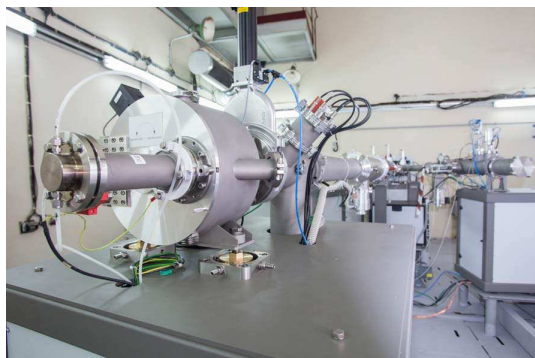


Рис. 3. Камера и канал для реализации РТП

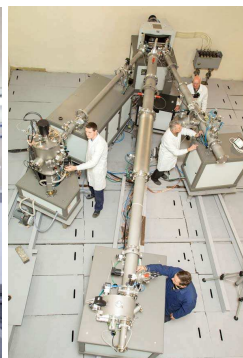


Рис. 4. Перезарядный ускоритель 3MV Tandetron 4130 MC+(HC) и его параметры

Потенциал кондуктора – 0,2 – 3,3 МВ
 Стабильность потенциала ± 300 В
 Пульсации потенциала – 30 – 200 В
 Вакуум в ускорителе – 4×10^{-7} торр (безмасляный!)
 Допустимый ток нагрузки каскадного выпрямителя – 1,3 мА
 Пучки моноэнергетических нейтронов от 150 кэВ до 9,1 МэВ.
 Плотность потока нейтронов до 10^9 нейтр./см².с.
 Импульсные пучки изотопов водорода:
 0,5 – 4 МэВ; 2 нс; 125 кГц – 4 МГц
 Средний ток пучка: – 4,8 мкА (4 МГц)
 Интенсивности непрерывных пучков ускоренных ионов:
 1H⁺ – 20 (50) мкА 31P³⁺ – 20 мкА
 2D⁺ – 15 (30) мкА 28Si³⁺ – 48 мкА
 4He²⁺ – 4 мкА 58Ni³⁺ – 20 мкА
 7Li²⁺ – 2 мкА 58Fe³⁺ – 2 мкА
 11B³⁺ – 12 мкА 63Cu²⁺ – 8 мкА
 12C³⁺ – 40 мкА 75As²⁺ – 5 мкА
 16O³⁺ – 40 мкА 197Au²⁺ – 20 мкА
 19F³⁺ – 20 мкА

Пробные РТП-процессы на основе протонной обработки диодных структур на ускорителе Тандетрон

Тип диодной структуры	Энергия протонов, МэВ	Флюенс, см ⁻²	Решаемая задача
Эпитаксиально-планарный импульсный диод (200 В, 3 А)	0,7–1,2	10^{12} – 10^{13}	Снижение времени восстановления обратного сопротивления t_{rr} (≤ 10 нс)
Ультростабильный прецизионный стабилитрон (6,5 В; 7,5 мА)	0,5–0,8	10^{13} – 10^{14}	Снижение прямого падения напряжения на компенсирующем кристалле ($U_F \leq 0,55$ В)
Диффузионный сварочный диод (400 В; 600 В; 7,1 кА)	2,8–3,5	$5 \cdot 10^{11}$ – $2 \cdot 10^{12}$	Повышение рабочей частоты до 20 кГц, показателя мягкости переключения ($\geq 0,8$)
Быстровосстанавливающийся диод (1700, 2500, 3300 В; 100 А)	0,8–1,0	10^{11} – $5 \cdot 10^{12}$	Снижение t_{rr} (< 200 нс), увеличение показателя мягкости ($\geq 1,0$)

Литература

1. Е.А.Ладыгин. Радиационная технология твердотельных электронных приборов. М.: ЦНИИ «Электроника», 1976. - 345 с.
2. Ладыгин Е.А., Лагов П.Б., Осипов Г.А. Улучшение усилительных, импульсных и температурных характеристик кремниевых маломощных транзисторов при обработке быстрыми электронами и отжиге. ВАНТ. Серия: Физика радиационного воздействия на РЭА. 1996. Вып. 1-3.
3. Ладыгин Е.А., Лагов П.Б. Преимущества высокотемпературного технологического облучения диодных матричных структур, применяемых в бортовой аппаратуре. ВАНТ. Серия: Физика радиационного воздействия на РЭА. 1999. Вып. 1-2.
4. Ладыгин Е.А., Лагов П.Б., Дашевский М.Я., Улимов В.Н., Сопов О.В. Физические основы радиационных процессов в технологии кремниевых приборов силовой электроники. V Семинар Азиатско-Тихоокеанской академии материалов «Материалы и процессы создания приборов силовой электроники». 5–7 мая 2001г., М., изд. ИНХ СО РАН. Новосибирск, 2001г.
5. Ладыгин Е.А., Паничкин А.В., Осипов Г.А., Таперо К.И., Лагов П.Б., Коновалов М.П. Физико-технические основы радиационных методов обработки полупроводниковых приборов и микросхем, используемых для комплектации электронных систем КА. Сборник трудов Международной Академии Информатизации, ФГУП «Оптекс», Москва, 2003г.
6. Павлов Ю.С., Лагов П.Б. Физико-технические основы и примеры применения радиационных методов обработки твердотельных электронных приборов. Труды XXV Международной конференции «Радиационная физика твердого тела» (Севастополь, Россия, 6 июля - 11 июля 2015 г.). М.: Изд-во ФГБНУ «НИИ ПИМТ». 2015.
7. Павлов Ю.С., Ревина А.А., Кузнецов М.А., Суворова О.В., Сурма А.М., Лагов П.Б., Быковченко Т.В., Завьялов М.А., Филиппович В.П., Доброхотов В.В., Павлов В.А., Непомнящий О.Н. Промышленные электронно-лучевые технологии реализованные на ускорителе УЭЛВ-10-20-С-70-2. // VI Всероссийская конференция (с приглашением специалистов стран СНГ) "Актуальные проблемы химии высоких энергий" (Москва, 20-22 октября 2015 года). Материалы конференции. М., Издательство Граница". 2015.
8. Павлов Ю.С., Сурма А.М., Лагов П.Б., Фоменко Ю.Л., Гейфман Е.М. Электронно-лучевые технологии модификации биполярных полупроводниковых приборов на ускорителях. Материалы II конференции "Плазменные, лазерные исследования и технологии", секция «Ускорители заряженных частиц», 25-27 января 2016 г. НИЯУ «МИФИ».