Uzbek Journal of Physics
Vol.20(№2) 2018 PP.131-133

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

О ВЛИЯНИИ ДИСПРОЗИЯ НА ПРОЦЕССЫ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В КРЕМНИИ

Х.С. Далиев, Ш.Б. Утамурадова, Ш.Х. Далиев, М.Ш. Дехканов, Ш.Б. Норкулов

Национальный университет РУз им. М. Улугбека, Ташкент, Узбекистан
dalievkhs@yandex.ru
(Получена 01.2018)

Мақолада чуқур сатҳлар ностационар сиғимли спектроскопия усули ёрдамида γ-квант ^{60}Co билан нурлантирилган *n*-Si<Dy> да радиацион нуқсонларнинг ҳосил бўлиш эффективлигига диспрозий атомларининг таъсири тадқиқ этилган. Кислородли кремнийда *A*-марказларнинг ҳосил бўлиш эффективлиги каттароқ, кислородсиз кремнийда эса *E*-марказларнинг эффективлиги каттароқ. Диспрозийнинг кремний ҳажмида бўлиши радиацион нуқсонларнинг камайишига олиб келиши аниқланган. *A*- ва *E*-марказларнинг *n*-Si<Dy> намуналарда назорат намуналарга нисбатан концентрацияси 2–4 баробар кам экан.

В работе методом DLTS исследовано влияние атомов диспрозия на эффективность образования радиационных дефектов в *n*-Si<Dy>, облученном γ-квантами ^{60}Co. Показано, что в присутствии кислорода в кремнии доминирует образование *A*-центров, а в «бескислородном» кремнии преобладают *E*-центры. Установлено, что наличие Dy в объёме кремния приводит к замедлению процесса радиационного дефектообразования: Концентрация *A*-центров и *E*-центров в образцах *n*-Si<Dy> в 2-4 раза меньше по сравнению с контрольными образцами.

In the paper, the DLTS method is used to study the effect of dysprosium atoms on the efficiency of radiation defects formation in *n*-Si <Dy> irradiated with γ-quanta ^{60}Co. It is shown that formation of *A*-centers dominates in silicon with oxygen, and in oxygen-free silicon *E*-centers dominate. It was found that the presence of Dy in the volume of silicon leads to a slowdown in the process of radiation defect formation. The concentration of *A*-centers and *E*-centers in the *n*-Si<Dy> samples 2-4 times less than the control samples.

Известно, что эффективность образования радиационных дефектов (РД) в кремнии и кинетика их отжига зависят от наличия различных неконтролируемых примесей, их содержания и состояния в решетке Si, присутствия одновременно нескольких примесей и многих других факторов [1-5]. Среди перечисленных факторов наибольший интерес представляют нетрадиционные примеси, специально введенные в Si перед облучением.

Целью данной работы является исследование влияния диспрозия на процессы образования радиационных дефектов в *n*-Si<Dy>, облученном γ-квантами ^{60}Co методами нестационарной емкостной спектроскопии (DLTS).

В качестве исследуемых образцов использовали монокристаллический кремний *n*-типа проводимости с удельным сопротивлением ρ = 10–65 Ом·см и содержанием междоузельного оптически активного кислорода $N_O^{опт}$ в интервале $(5\times10^{16}–7\times10^{17})$ см$^{-3}$. Легирование кремния редкоземельной примесью, диспрозием, производили в процессе выращивания из расплава.

Облучение образцов производилось γ-квантами ^{60}Co при 300 К с интенсивностью потока 3.1-10^{12} квант/см^2·с. Одновременно облучали и исходные образцы кремния без примеси диспрозия с таким же содержанием $N_O^{опт}$, что и легированные образцы. Процессы радиационного дефектообразования в образцах *n*-Si<Dy> с разным содержанием кислорода и диспрозия изучали с помощью DLTS на барьерах Шоттки, созданных путем напыления золота на поверхность *n*-Si в высоком вакууме. В качестве омического контакта химически осаждали никель, иногда напыляли сурьму или алюминий. Спектры DLTS измеряли в режимах постоянной емкости [6] и постоянного напряжения [7].

Ниже приведены результаты исследования процессов образования РД в образцах *n*-Si, легированных диспрозием.

Анализ спектров DLTS показывает, что введение диспрозия в кремний в процессе выращивания Si из расплава не приводит к образованию каких-либо глубоких уровней в запрещенной зоне кремния в заметной концентрации. Следует добавить, что по данным нейтронно-активационного анализа атомы диспрозия присутствуют в объеме кремния в довольно высокой концентрации (3×10^{16}–4×10^{18}) см$^{-3}$. Этот факт свидетельствует о том, что атомы диспрозия, введенные при выращивании, электрически нейтральны.

Из измерений спектров DLTS образцов Si, легированных диспрозием в процессе выращивания из расплава, и контрольных нелегированных образцов до и после каждого этапа облучения определен энергетический спектр образуемых глубоких уровней. Отметим, что в образцах без кислорода $N_O^{опт}$ составляет 5×10^{16} см$^{-3}$ и 7×10^{17} см$^{-3}$ в присутствии кислорода в кремнии.

Анализ спектров DLTS показал, что в результате гамма-облучения образцов *n*-Si<Dy> в присутствии кислорода вводится новый глубокий уровень с энергией ионизации E_c–0.17 эВ (пик А) и сечением захвата электронов $\sigma_n=1\times10^{-14}$ см^2 (рис. 1). Параметры этого ГУ совпадают с данными работ [3-5] и относятся к комплексу кислород-вакансия (*A*-центр).

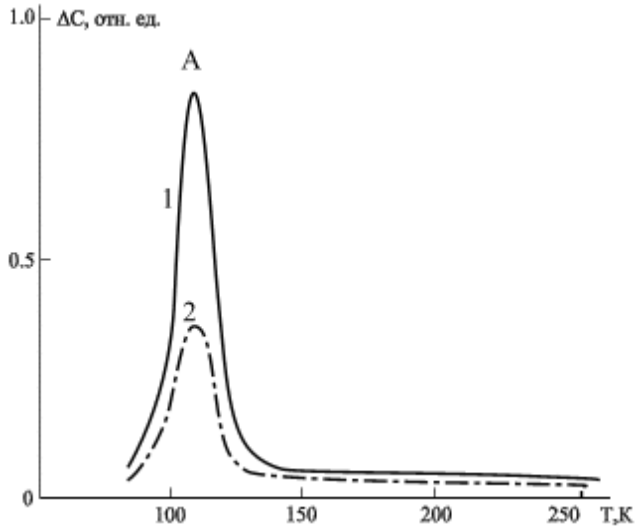


Рис. 1. Типичные спектры DLTS контрольных образцов *n*-Si (*1*) и *n*-Si<Dy> (*2*) после γ-облучения, $N_O^{опт} = 7\times10^{17}$ см$^{-3}$.

В облученных контрольных образцах *n*-Si с кислородом также обнаружен А-центр, но дозовая зависимость его концентрации линейна в отличие от аналогичной зависимости в легированных образцах. Кроме того, концентрация А-центра в контрольных образцах больше, чем в легированных (рис. 1).

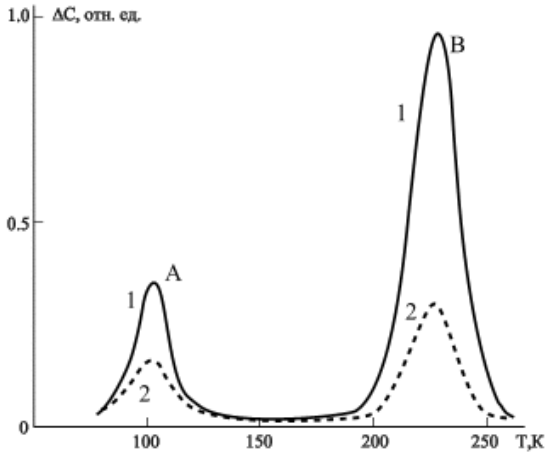


Рис. 2. Типичные спектры DLTS контрольных образцов *n*-Si (*1*) и *n*-Si<Dy> (*2*) после γ-облучения, $N_o^{опт} = 5\times10^{16}$ см$^{-3}$.

Анализ спектров DLTS контрольных образцов Si без кислорода показал, что облучение вводит в них еще один радиационный дефект – *E*-центр с энергией ионизации E_c–0.43 эВ и сечением захвата электронов 1.8×10^{-15} см^2. Отметим, что в легированных образцах концентрация *E*-центров почти на порядок меньше, чем в контрольных образцах (рис. 2, кривые 1 и 2).

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что введение одной из примесей редкоземельных элементов (диспрозия) в кремний, приводит к снижению эффективности введения радиационных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Шаховцов, В.Л. Шиндич. Радиационное эффекты в твердых телах (Киев, Наукова думка, 1977), с.88-102.
2. Физические процессы в облученных полупроводниках. Под ред. Л.С. Смирнова (Новосибирск, Наука, 1977).
3. С.А. Смагулова, И.В. Антонова, Е.П.Неустроев, В.А. Скуратов, ФТП **37**, №5, 565 (2003).
4. Вопросы радиационной технологии полупроводников. Под ред. Л.С. Смирнова (Новосибирск, Наука, 1980).
5. Л.С. Берман, А.А. Лебедев. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках (Ленинград, Наука, 1981).
6. D.V. Lang, J. Appl. Phys. **45**, №7, 3023 (1974).
7. G.L. Miller, D.V. Lang, L.C. Kimerling, Ann. Rev. Mater. Sci. **7**, 377 (1977).